

## BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

EPO/7622



REC'D 08 SEP 2000

WIPO PCT

10/019849

EPO - Munich  
20

19. Aug. 2000

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung

f

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Aktenzeichen:** 199 45 313.6

**Anmeldetag:** 22. September 1999

**Anmelder/Inhaber:** PAPST-MOTOREN GMBH & CO KG,  
St Georgen/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Messung einer Frequenzinformation,  
insbesondere einer Drehzahlinformation bei einem  
Motor, und Vorrichtung zur Durchführung eines  
solchen Verfahrens

**IPC:** G 01 P 3/481

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. August 2000  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Liller

Seiler

**Anmelderin:** PAPST-MOTOREN GMBH & CO KG  
Hermann-Papst-Straße 1  
78112 St. Georgen.

**Bezeichnung:** Verfahren zur Messung einer Frequenzinformation,  
insbesondere einer Drehzahlinformation bei einem Motor, und  
Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

### **Zusammenfassung**

Es geht um ein Verfahren zur Gewinnung einer Information über die Drehzahl (n) eines rotierenden, im folgenden Rotor (32) genannten Objekts. Ein Rotorstellungssensor (61) liefert ein Rotorstellungssignal (f), welches pro Umdrehung des Rotors (32) eine feste Anzahl von Ereignissen (165, 166, 167, 168) nach Art von Impulsen, Flanken oder dergleichen aufweist. Bei diesem Verfahren wird zu einem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt (161) die Messung einer Drehzahlinformation eingeleitet. Daraufhin wird ein zweiter Zeitpunkt (165) ermittelt, an dem ein dem ersten vorgegebenen Zeitpunkt (161) folgendes Ereignis (165) des Rotorstellungssignals f auftritt. Die Anzahl N der folgenden Ereignisse des Rotorstellungssignals wird erfasst. Zu einem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt (163) wird die Beendigung der Messung der Drehzahlinformation eingeleitet. Daraufhin wird ein vierter Zeitpunkt (168) ermittelt, an dem ein dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt (163) folgendes Ereignis (168) des Rotorstellungssignals auftritt. Aus dem zeitlichen Abstand zwischen dem zweiten Zeitpunkt (165) und dem vierten Zeitpunkt (168) sowie der Anzahl N der Ereignisse des Rotorstellungssignals zwischen diesen Zeitpunkten wird die Drehzahlinformation berechnet.

Hierzu Fig. 1

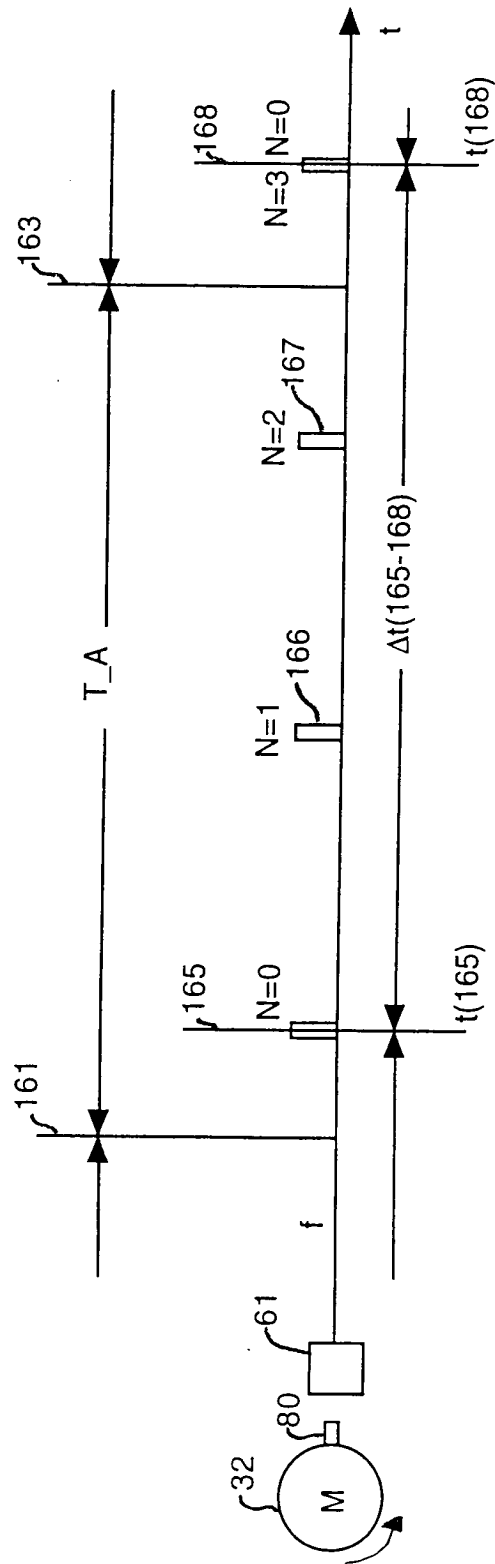


Fig. 1

## Verfahren zur Messung einer Frequenzinformation, insbesondere einer Drehzahlinformation bei einem Motor, und Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung einer Frequenzinformation, insbesondere einer Drehzahlinformation bei einem Motor, und eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens.

Digitale Systeme zur Erfassung der Drehzahl eines rotierenden Objekts ("Rotor") beruhen darauf, dass ein solcher Rotor pro Umdrehung eines oder mehrere Signale erzeugt, z.B. Nadelimpulse, Impulsflanken, oder dgl. Diese Signale werden nachfolgend auch als "Ereignisse" bezeichnet. Die Erfassung einer Drehzahlinformation beruht darauf, dass der zeitliche Abstand zwischen derartigen "Ereignissen" gemessen wird, oder dass gezählt wird, wieviele solche "Ereignisse" pro Zeiteinheit auftreten.

Da mit zunehmender Drehzahl die Zahl solcher "Ereignisse" pro Zeiteinheit zunimmt, wird zu ihrer Verarbeitung in einem digitalen System umso mehr Rechenzeit benötigt, je höher die Drehzahl ist, so dass die Rechenzeit abnimmt, die für andere Prozesse zur Verfügung steht.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein neues Verfahren zur Messung einer Frequenzinformation, insbesondere einer Drehzahlinformation bei einem Motor, und eine Vorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, bereitzustellen.

Nach einem ersten Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1. Man erreicht so, dass die Messung der Drehzahlinformation etwa beim ersten, vorgegebenen Zeitpunkt beginnt, und es wird durch den ersten, vorgegebenen Zeitpunkt und den dritten, vorgegebenen Zeitpunkt eine ungefähre Messdauer vorgegeben. Diese ungefähre Messdauer wird nicht durch die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rotors beeinflusst. Der Start der Berechnung der Drehzahlinformation, welche Berechnung nach Ablauf der Messung erfolgen kann, ist damit auch in etwa zeitlich bestimmt. Hierdurch wird ein z.B. vorhandener Mikroprozessor oder Mikrocontroller (im folgenden:  $\mu C$ ) bei allen Drehzahlen gleichmäßig belastet, so dass auch für andere Aufgaben, z.B. die Regelung der Drehzahl, immer genügend Rechenleistung zur Verfügung

steht.

Dadurch, dass mit einer Messung mehrere "Ereignisse" des Rotorstellungssignals erfasst werden können, findet eine Mittelwertbildung bei der Messung der Drehzahlinformation statt. Wird die Drehzahl nämlich durch eine Mehrzahl kurzer Messungen ermittelt, z.B. durch Messung während jeder Umdrehung, so muss man oft aus mehreren Messwerten durch Rechnung einen gleitenden Mittelwert (moving average) bilden. Dagegen erhält man durch die Erfindung ohne zusätzliche Rechnung einen Mittelwert, wodurch z.B. ein  $\mu C$  zusätzlich entlastet wird. Und trotz der ungefähren Vorgabe einer Messdauer durch die vorgegebenen Zeitpunkte findet bei dem Verfahren die eigentliche Messung genau zwischen zwei Ereignissen des Rotorstellungssignals statt. Dies hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, da die Messung genau zwischen zwei Ereignissen des Rotorstellungssignals eine besonders hohe Genauigkeit bewirkt.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist Gegenstand des Anspruchs 4. Hierdurch wird erreicht, dass bei der Messung der Drehzahlinformation bei einem Rotor mit einer festen Anzahl von "Ereignissen" pro Rotorumdrehung immer zwischen solchen "Ereignissen" gemessen wird, welche derselben Drehstellung des Rotors zugeordnet sind, d.h. es werden volle Umdrehungen gemessen. Dies ist insbesondere bei Rotoren interessant, welche mehrere Marken zur Erzeugung des Rotorstellungssignals aufweisen, welche Marken nicht die gleichen Winkelabstände haben. Durch die Weiterbildung gemäß Anspruch 4 wird also immer an der gleichen Marke gemessen, also an derselben Drehstellung des Rotors, so dass die Exaktheit der Winkelabstände keine Rolle spielt. Es ergibt sich hierdurch eine hohe Genauigkeit der Messung.

Eine andere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung ist Gegenstand des Anspruchs 8. Durch ein solches Verfahren wird kontinuierlich eine Drehzahlinformation gemessen, denn die folgende Messung schließt sich nahtlos an die momentane Messung an. In der Nähe von jedem vorgegebenen Zeitpunkt wird eine momentane Messung beendet und eine neue Messung begonnen. Wenn die vorgegebenen Zeitpunkte jeweils nach einer Zeit  $T_A$  auftreten, so findet im Mittel jeweils nach der Zeit  $T_A$  eine Messung statt. Die Verarbeitung der Messungen, z.B. in einem  $\mu C$ , findet somit in regelmäßigen Abständen statt, welche unabhängig von der Drehzahl sind. Hierdurch wird der  $\mu C$  bei allen

Drehzahlen gleichmäßig beansprucht.

Da in diesem Fall keine Pause zwischen den einzelnen Messungen liegt, ist dieses Verfahren besonders gut geeignet, wenn für die Messung jede einzelne Umdrehung des Rotors berücksichtigt werden muss, wie es z.B. bei Motoren mit hochgenauen Reglern oder bei Schrittmotoren notwendig ist.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren gemäß Anspruch 13. Durch die erfindungsgemäße Berücksichtigung des Rests in der nachfolgenden Messung wird bei einer Berechnung der Drehzahlinformation mittels Division bewirkt, dass durch Rundung keine Drehzahlinformation verlorengeht. Dies führt in sehr vorteilhafter Weise zu einer Erhöhung der Genauigkeit der Messung und ist von großem Vorteil bei komplizierten Regelvorgängen, die hohe Präzision erfordern.

Durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 14 ergibt sich ebenfalls eine Lösung der gestellten Aufgabe. Die Vorteile entsprechen den weiter oben zu Anspruch 1 genannten Vorteilen.

Die bevorzugte Verwendung eines Ringzählers gemäß Anspruch 18 hat den Vorteil, dass der Stopp der einen Messung und der Start der nachfolgenden Messung gleichzeitig sind, weil der Ringzähler ständig läuft, so dass keine Fehler durch eine Messverzögerung auftreten können und sich etwaige Verzögerungen, z.B. durch das gleichzeitige Auftreten von zwei Interrupts, nachfolgend automatisch ausgleichen. Dies ermöglicht eine lückenlose Erfassung der Drehzahl, und einen mittleren Fehler der Drehzahlerfassung, der bei Null liegt, da bei der Messung kein Bit verlorengeht.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den im folgenden beschriebenen und in den Zeichnungen dargestellten, in keiner Weise als Einschränkung der Erfindung zu verstehenden Ausführungsbeispielen, sowie aus den übrigen Unteransprüchen. Es zeigt:

Fig. 1 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Messung für einen Rotor mit einer einzigen Marke 80,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer Drehzahlberechnungsfunktion,

- Fig. 3 eine Prinzipdarstellung einer erfindungsgemäßen Messung für einen Rotor mit zwei Marken 81 und 82,
- Fig. 4 die Pinbelegung eines beim Ausführungsbeispiel verwendeten  $\mu C$ , nämlich des Typs PIC 16C72 von Microchip,
- Fig. 5 ein Schaltbild, welches Bauteile einer erfindungsgemäßen Anordnung zeigt,
- Fig. 6 eine Istfrequenz  $f$  vor und nach der Signalbearbeitung,
- Fig. 7 ein Flussdiagramm mit einer Übersicht über das Gesamtprogramm,
- Fig. 8 ein Funktionsregister,
- Fig. 9 ein Zustandsdiagramm für ein erfindungsgemäßes Messverfahren,
- Fig. 10 eine Prinzipdarstellung einer Messung gemäß Fig. 9 für einen Rotor mit vier Marken,
- Fig. 11 ein Flussdiagramm für eine Funktion TIMER0-Interrupt,
- Fig. 12 ein Flussdiagramm für eine Funktion Hall-Interrupt,
- Fig. 13 ein Flussdiagramm für eine Funktion CALC\_n zur Berechnung der Drehzahl,
- Fig. 14 ein Flussdiagramm für eine Funktion RGL zur Regelung der Drehzahl, und
- Fig. 15 eine Prinzipdarstellung einer Messung analog zu Fig. 3, bei welcher ein Störsignal S auftritt, zur Erläuterung des hierbei auftretenden Vorgänge.

Gleiche oder gleich wirkende Teile werden nachfolgend mit denselben Bezugszeichen bezeichnet und gewöhnlich nur einmal beschrieben.

### **Prinzip der Messung**

**Fig. 1** zeigt einen Rotor 32 mit einer Marke 80, und einen Sensor 61 für die Marke 80, der als Rotorstellungssensor dient. Der Rotor 32 ist gewöhnlich Teil eines Motors M. Sofern es sich um einen elektronisch kommutierten Motor (ECM) handelt, hat dieser gewöhnlich einen Rotorstellungssensor 61, der dann auch für die vorliegende Erfindung verwendet werden kann.

Der Rotorstellungssensor 61 detektiert mit Hilfe der Marke 80 ein Rotorstellungssignal  $f$ . Das Rotorstellungssignal  $f$  weist Impulse an den Stellen 165, 166, 167 und 168 etc. auf, wobei zwischen jeweils zwei Impulsen eine Umdrehung des Rotors 32 stattgefunden hat. Die Zeitachse ist mit  $t$  bezeichnet. Diese Impulse stellen "Ereignisse" (events) bei der Drehung des Rotors 32 dar. Bei Fig. 1 wird pro Rotorumdrehung 1 Ereignis erzeugt, nämlich 1 Impuls.

Mit Hilfe des Rotorstellungssignals  $f$  wird wie folgt die Drehzahl des Rotors 32 gemessen. In regelmäßigen Abständen  $T_A$  wird ein Startsignal 161, 163 etc. erzeugt, mit dem jeweils eine neue Messung angefordert wird.

Auf das Startsignal an der Stelle 161 folgt der Impuls 165, und auf das Startsignal an der Stelle 163 der Impuls 168. Die Messung geschieht zwischen den Stellen 165 und 168. Gemessen werden die Anzahl  $N$  der Impulse des Rotorstellungssignals  $f$ , welche nach 165 bis einschließlich 168 auftreten, also hier  $N = 3$ , und die für diese Impulse benötigte Zeit  $\Delta t(165-168)$ . Hieraus lässt sich die Frequenz des Rotorstellungssignals  $f$  und damit die Drehzahl des Rotors 32 bestimmen. An den Stellen 165, 168 der Messung wird jeweils eine alte Messung beendet und eine neue Messung gestartet. Man geht also so vor, dass bei dem auf das Startsignal 161, 163 folgenden Impuls jeweils eine alte Messung beendet und simultan eine neue Messung begonnen wird.

Die Anzahl  $N$  der Impulse kann z.B. gemessen werden, indem der Wert  $N$  am Ende jeder Messung auf Null zurückgesetzt wird und anschließend der Wert  $N$  bei jedem Impuls um 1 erhöht wird.

Die Zeit  $\Delta t$  kann z.B. gemessen werden, indem die Differenz zwischen der Zeit des Starts der Messung, z.B.  $t(165)$  an der Stelle 165, und der Zeit des Endes der Messung, z.B.  $t(168)$  an der Stelle 168, gebildet wird.



Beträgt z.B.  $t(165) = 17,7 \text{ ms}$  und  
 $t(168) = 87,7 \text{ ms}$ ,  
so ist  
 $\Delta t(165-168) = 87,7 \text{ ms} - 17,7 \text{ ms} = 70 \text{ ms}$ .

Durch die Startsignale 161, 163, welche in festen Abständen  $T_A$  auftreten, wird ein Messfenster verwirklicht. Die Messungen finden jedoch nicht genau zu dem Zeitpunkt des jeweiligen Startsignals statt, sondern gemessen wird an einer geeigneten, auf das jeweilige Startsignal folgenden Stelle, an der ein Impuls ("Ereignis") des Rotorstellungssignals  $f$  auftritt. Bei einer Messung zum Zeitpunkt des jeweiligen Startsignals würden der Anfang und das Ende der Messung in der überwiegenden Anzahl der Fälle an irgendeiner Stelle zwischen zwei Impulsen des Rotorstellungssignals stattfinden. Dies würde zu einer Ungenauigkeit in der Messung führen. Wird jedoch bis zu dem nächsten darauffolgenden Impuls gewartet, so werden volle Perioden zwischen den Impulsen gemessen, was zu einer starken Erhöhung der Genauigkeit der Messung führt.

**Fig. 2** zeigt schematisch eine Berechnung der Drehzahl  $n$  in einer Drehzahlberechnungsfunktion 170. Die Funktion 170 bekommt in zeitlichen Abständen, welche im Mittel die Dauer  $T_A$  haben, als Eingabe die Anzahl  $N$  der Impulse und die für diese Anzahl  $N$  benötigte Zeit  $\Delta t$ . Hieraus berechnet die Funktion 170 eine Drehzahlinformation  $n$  als Quotient aus der Anzahl  $N$  und der Zeit  $\Delta t$

$$n = N / \Delta t \quad (1)$$

**Fig. 3** zeigt den Rotor 32' (eines Motors  $M_2$ ) mit zwei Marken 81 und 82 und dem Rotorstellungssensor 61. Die Marken 81 und 82 sind ungefähr  $180^\circ$  mech. versetzt.

Der Rotorstellungssensor 61 detektiert mit Hilfe der Marken 81 und 82 ein Rotorstellungssignal  $f$ . Das Rotorstellungssignal  $f$  weist aufgrund der Marke 81 Impulse (weiss gefüllt dargestellt) an den Stellen 176, 178, 180 und 182 und aufgrund der Marke 82 Impulse (schwarz gefüllt dargestellt) an den Stellen 175, 177, 179 und 181 auf. Zwischen jeweils zwei "weissen" Impulsen bzw. zwischen jeweils zwei "schwarzen" Impulsen findet eine volle Umdrehung des Rotors 32' statt.

Da die Impulse der Marken 81 und 82 nicht unterschieden werden können, kann allgemeiner gesagt werden, dass zwischen jedem Impuls und dem übernächsten Impuls, z.B. zwischen  $N = 1$  und  $N = 3$ , eine Umdrehung des Rotors 32' stattfindet.

Der Messung der Drehzahl  $n$  des Rotors 32' liegen folgende Überlegungen zugrunde:

Die Marken 81, 82 können niemals vollkommen symmetrisch angeordnet werden. Es ist z.B. möglich, dass die Marke 82 um wenige Grade von der symmetrischen Position bei  $180^\circ$  mech. von der Marke 81, welche bei  $0^\circ$  mech. liegt, abweicht, also z.B. bei  $183^\circ$  mech. positioniert ist. Hierdurch käme es bei einer Messung, welche z.B. an der Stelle 176 (Marke 81) startet und bei der Stelle 181 (Marke 82) endet, zu einem Messfehler, da der gemessene Winkelbereich nicht genau ein Vielfaches von  $180^\circ$  mech. wäre.

Um dieses Problem zu beseitigen, werden in Fig. 3 jeweils nur volle Umdrehungen gemessen, d.h. es wird immer zwischen der gleichen Art von Marke gemessen, und damit wird immer genau ein Vielfaches von  $360^\circ$  mech. gemessen. Die Messung, die bei 176 beginnt, nämlich nach dem Startimpuls 171, endet daher nicht an der Stelle 181, sondern an der Stelle 182, welche die nächste auf das Startsignal 173 folgende Stelle ist, an der, von dem Start der Messung an der Stelle 176 aus betrachtet, eine volle Umdrehung stattgefunden hat.

Diese Bedingung kann mathematisch mit der Funktion MODULO (mod) beschrieben werden, wobei z.B.

$$N \bmod 2 = 0 \quad (2)$$

bedeutet, dass bei einer Division des Wertes  $N$  durch 2 der Rest 0 übrigbleibt. So ist z.B.  $0 \bmod 2 = 0$ ,  $1 \bmod 2 = 1$ ,  $2 \bmod 2 = 0$ ,  $3 \bmod 2 = 1$  usw.

In Fig. 3 ist bei 183 auch  $N \bmod 2$  unter den Impulsen 175 bis 182 eingetragen, und eine Messung endet/startet z.B. nur, wenn durch ein Startsignal 171, 173 eine Messung angefordert ist und zusätzlich die Bedingung  $N \bmod 2 = 0$  erfüllt ist.

Allgemeiner gesagt, sollte der Wert von  $N \bmod 2$  bei Start und Stopp der Messung derselbe sein.

Hat ein Rotor eine Zahl von A Markern, so lautet die Bedingung der Gleichung (2) allgemein

$$N \bmod A = 0$$

bzw.

$$N \bmod A = \text{const.} \quad (3)$$

Im folgenden wird die Grösse A mit MOD\_f bezeichnet, und Gleichung (3) lautet dann

$$N \bmod \text{MOD}_f = 0$$

bzw.

$$N \bmod \text{MOD}_f = \text{const} \quad (3a)$$

Die Wahl des ersten Markers kann dabei entweder durch ein besonderes Signal erfolgen, oder es kann z.B. willkürlich der erste gemessene Marker als Marker mit  $N = 0$  gewählt werden. Aus der Erläuterung zu Fig. 15 wird dies noch deutlicher werden.

Die Messung erfolgt also bei Fig. 3 entweder, wie dargestellt, zwischen "weissen" Impulsen, oder, wie in Fig. 15 rechts dargestellt, zwischen "schwarzen" Impulsen. Beim Beispiel der Fig. 3 erfolgt die Messung zwischen den Impulsen 176 und 182. Dort werden  $N = 6$  Impulse gezählt, und der zeitliche Abstand zwischen den Impulsen 176 und 182 wird ermittelt und beträgt  $\Delta t(176-182)$ . Aus diesen beiden Werten wird dann gemäss Gleichung (1) eine Drehzahlinformation  $n$  errechnet.

Es sei nochmals hervorgehoben, dass es in der Realität keine "weissen" oder "schwarzen" Impulse gibt, sondern dass dies ein didaktisches Hilfsmittel zur Erläuterung der Erfindung ist.

**Fig. 4** zeigt eine Übersicht über die beim Ausführungsbeispiel verwendeten Anschlüsse eines  $\mu\text{C}$  23, hier vom Typ PIC 16C72 der Firma Microchip. Dies ist ein 8 Bit-Prozessor. Er enthält einen 16 Bit-Timer und einen 8 Bit-Timer, zwei PWM-Register, und mehrere Interruptfunktionen. Naturgemäss stellt dieser Prozessor nur ein Beispiel dar, hat sich aber bei der beschriebenen Ausführungsform bewährt.

Der  $\mu\text{C}$  23 weist u.a. die Anschlüsse MCLR 37, VSS 38, CLKIN 39, CLKOUT 40, C1 41, B5 42, B4 43, VDD 44, VSS 45, SDA 46 und SCL 47 auf.

**Fig. 5** zeigt ein Schaltbild über eine bevorzugte Anordnung mit einem Elektromotor M, dessen Drehzahl geregelt werden soll.

Die Anschlüsse des  $\mu\text{C}$  23 sind in Fig. 4 dargestellt, und die entsprechenden Bezugszeichen werden weiter verwendet. Der Anschluss MCLR 37 ist über einen Widerstand 71 an einer Plus-Spannung + 5 V angeschlossen. Die Anschlüsse CLKIN 39 und CLKOUT 40 sind mit einem Oszillatorquarz 75 verbunden. Der Anschluss VDD 44 ist an + 5 V angeschlossen, der Anschluss VSS 45 an Masse GND, und die beiden Anschlüsse sind über einen Kondensator 77 miteinander verbunden. Der  $\mu\text{C}$  23 weist zwei Timer TIMER0 und TIMER1 auf, sowie einen Zähler für die nachfolgend beschriebenen Variable INT\_CNT\_f. Gleiche oder gleich wirkende Teile wie in den Fig. 1 bis 4 erhalten dieselben Bezugszeichen.

Die durch den Rotorstellungssensor 61 detektierte Frequenz  $f$  (entsprechend der Drehzahl des Motors M 32) gelangt über eine Leitung 29 an ein Filter FILT 57, und von dort über die Leitung 59 an den Anschluss B5 42 des  $\mu\text{C}$  23.

Der Motor 32 weist ein Stellglied SG 63 auf, welches die Größe des durch den Motor 32 fließenden Stromes beeinflusst.

Das Stellglied 63 ist über eine Leitung 33 an einer Spannung + U<sub>B</sub> angeschlossen, und ein Stellwert SW wird dem Stellglied SG 63 über eine Leitung 27 von dem Anschluss C1 des  $\mu\text{C}$  23 zugeführt, um die Größe des Stromes zu beeinflussen, der über SG63 zum Motor M fließt.

### **Arbeitsweise**

Der  $\mu\text{C}$  23 erhält seine Betriebsspannung über den Anschluss VDD 44 an + 5 V und VSS 45 an Masse GND. Über einen Siebkondensator 77 wird die Versorgungsspannung gegen Spannungsspitzen und -einbrüche gesichert. Die Taktfrequenz des  $\mu\text{C}$  23 wird mit Hilfe des an die Anschlüsse CLKIN 39 und CLKOUT 40 angeschlossenen Oszillators 75 erzeugt.

Die Anschlüsse SDA 46 bzw. SCL 47 des  $\mu\text{C}$  23 dienen zur seriellen Übertragung von Daten, und sie können z.B. mit einem EEPROM oder einem externen Bus verbunden sein (nicht dargestellt).

Die Frequenz  $f$  wird von dem Rotorstellungssensor 61 geliefert, welcher eine konstante Anzahl von Impulsen pro Umdrehung liefert. Als Rotorstellungssensor 61 kann z.B. ein Hallgenerator oder ein optischer oder induktiver Sensor verwendet werden.

Das Filter FILT 57 dient zur Aufbereitung der Flanken der Frequenz  $f$ , so dass bei einem Flankenwechsel an dem interruptfähigen Eingang B5 42 sicher ein Hall-Interrupt 630 (Fig. 7) ausgelöst wird. Das Filter FILT 57 kann z.B. als RC-Glied oder als Schmitt-Trigger ausgebildet sein.

Bei einem geeigneten Signal  $f$  vom Sensor 61 kann das Filter FILT 57 auch entfallen.

Ein Beispiel für die Wirkung des Filters ist in Fig. 6 gezeigt.

Der Timer TIMER0 des  $\mu$ C 23 wird zur Auslösung der Startsignale 171, 173 (Fig. 3) der Messung verwendet, indem er an den entsprechenden Stellen 171, 173 etc. einen TIMER0-Interrupt 638 (Fig. 7) auslöst.

Der Timer TIMER1 des  $\mu$ C 23 wird hier zur Bestimmung der Zeitdifferenz  $\Delta t$  zwischen zwei Messungen verwendet. Der TIMER1 ist in besonders bevorzugter Weise als Ringzähler ausgebildet. Das hat den großen Vorteil, dass der Ringzähler durchgehend mitläuft und bei einer Messung kein Bit verlorengeht. Man erhält so eine Drehzahlerfassung mit einer sehr hohen Auflösung, die im Mittel mit einem Messfehler Null arbeitet. Der Wert des TIMER1 wird bei jedem Interrupt ausgelesen und gespeichert. Sollten einmal zwei Interrupts gleichzeitig auftreten, so kann zwar eine geringe Messverzögerung auftreten, doch wird diese im folgenden Messzyklus automatisch korrigiert, weil dieser dann automatisch etwas zu kurz wird, denn der Stopp der einen Messung ist identisch mit dem Start der nachfolgenden Messung, und die nachfolgende Messung wird begonnen, bevor der aktuelle Messwert ausgewertet wird.

Ein in dem  $\mu$ C 23 berechneter Stellwert SW für die Drehzahlregelung wird über den Anschluss C1 41 z.B. als analoge Spannung SW ausgegeben und dem Stellglied SG 63 über die Leitung 27 zugeführt, welches Stellglied SG 63 die Stromzufuhr für den Motor M 32 steuert. Das Stellglied SG 63 kann z.B. als analoger Längssteller oder als PWM-Stellglied ausgeführt sein.

**Fig. 6A** zeigt die Frequenz  $f$ , bevor sie in das Filter FILT 57 gelangt, und **Fig. 6B** zeigt die Frequenz  $f$ , nachdem sie in dem Filter FILT 57 aufbereitet wurde.

Die Frequenz  $f$  aus Fig. 6A stammt z.B. von einem Hallgenerator, und die Flanken 109 sind weniger steil.

Die Frequenz  $f$  aus Fig. 6B ist durch das Filter FILT 57 aufbereitet worden. Die Flanken 110 sind steil, und es kann sicher durch die steilen Flanken 110 im  $\mu\text{C}$  23 ein Interrupt 630 (Fig. 7) ausgelöst werden, welcher im folgenden Hall-Interrupt genannt wird. Die Hall-Interrupts entsprechen zeitlich den Impulsen 165 bis 168 aus Fig. 1 und 175 bis 182 aus Fig. 3.

### **Allgemeiner Aufbau des Gesamtprogramms, Funktionsmanager**

Im folgenden wird die Architektur des in dem  $\mu\text{C}$  23 ablaufenden Gesamtprogramms beschrieben. Daraufhin werden die einzelnen Unterprogramme im einzelnen beschrieben.

**Fig. 7** zeigt ein Flussdiagramm mit einer möglichen Ausführungsform des in dem  $\mu\text{C}$  23 ablaufenden Gesamtprogramms.

Ganz oben stehen zwei Interruptroutinen Hall-Interrupt S631 (Fig. 12) und TIMER0-Interrupt S639 (Fig. 11), welche beim Auftreten des jeweiligen Interrupts 630 bzw 638 ausgeführt werden und welche über 632, 640 auf das Hauptprogramm einwirken. Dabei nimmt die Priorität, also die Reihenfolge, in der die einzelnen Programmteile ausgeführt werden, von oben nach unten ab. Die Prioritäten sind deshalb auf der rechten Seite mit L1 bis L7 bezeichnet, wobei eine kleinere Zahl eine höhere Priorität bedeutet. L1 hat also die höchste Priorität.

Unter den Interruptroutinen beginnt das Hauptprogramm. Nach dem Einschalten des Motors M wird in dem  $\mu\text{C}$  23 ein interner Reset ausgelöst. In S600 erfolgt die Initialisierung des  $\mu\text{C}$  23.

Nach der Initialisierung erfolgt ein Sprung in einen sogenannten Funktionsmanager 601, der in S602 beginnt. Der Funktionsmanager FCT\_MAN

regelt den Ablauf der einzelnen Unterprogramme.

Als erstes werden die Funktionen abgearbeitet, die zeitkritisch sind und bei jedem Durchlauf ausgeführt werden müssen. Hierzu zählt z.B. eine Kommunikationsfunktion COMM in S604, welche die Datenübertragung zwischen dem  $\mu$ C 23 und einem (nicht dargestellten) EEPROM oder Bus (Datenleitung) durchführt. S606 steht für evtl. vorhandene weitere zeitkritische Funktionen.

**Fig. 8** zeigt ein beispielhaftes Funktionsregister 605; in dem für jede weitere Funktion aus Fig. 7 ein Bit reserviert ist.

In diesem Ausführungsbeispiel ist das Funktionsregister 605 1 Byte groß, und es sind, von dem niederwertigsten Bit (LSB) beginnend, die folgenden Anforderungsbits für die unten erklärten anforderbaren Funktionen definiert:

- FCT\_XY für eine beliebige Funktion S612,
- FCT\_CALC\_n für eine Drehzahlberechnungsfunktion CALC\_n S616,
- FCT\_RGL für eine Reglerfunktion RGL S620.

Die restlichen Bits Bit 3 bis Bit 7 sind für weitere anforderbare Funktionen reserviert, die gegebenenfalls in den Funktionsmanager 601 integriert werden können.

Die Drehzahlberechnungsfunktion CALC\_n S616 (Fig. 7) dient zur Berechnung der Istdrehzahl  $n$ , die Reglerfunktion RGL S620 (Fig. 14) schließlich berechnet den neuen Stellwert SW (Fig. 5) und gibt diesen an das Stellglied SG 63 des Motors M aus.

Soll eine bestimmte anforderbare Funktion durch eine andere Funktion oder durch eine Interruptroutine angefordert werden, so wird das Bit der angeforderten Funktion in dem Funktionsregister 605 (Fig. 8) auf 1 gesetzt, z.B.  $FCT\_XY = 1$ . Das nächste Mal, wenn der Funktionsmanager 601 (Fig. 7) bei einem Durchlauf keine andere anforderbare Funktion mit höherer Priorität aufgerufen hat, wird diese Funktion ausgeführt.

Ist eine angeforderte Funktion abgearbeitet, so setzt sie selbst ihr Anforderungsbit wieder auf 0, also z.B.  $FCT\_XY = 0$ . Dies ermöglicht es, längere Funktionen, die

nicht in einem Durchlauf abgearbeitet werden können, weil sie z.B. zu lange Zeit benötigen, aufzuteilen und in mehreren Aufrufen abzuarbeiten.

In Fig. 7 wird nach S606 in einer vorbestimmten Reihenfolge, von der wichtigsten anforderbaren Funktion ausgehend, jeweils geprüft, ob deren Anforderungsbit gesetzt ist. Ist dies bei einer Funktion der Fall, so wird diese ausgeführt, und daraufhin wird wieder an den Anfang FCT\_MAN S602 des Funktionsmanagers 601 gesprungen. Die Reihenfolge der Überprüfung des Funktionsregisters 605 gibt die Prioritierung der anforderbaren Funktionen vor. Je höher eine solche Funktion in dem Funktionsmanager 601 steht, desto höher ist ihre Priorität.

Anhand eines Beispiels soll die Funktionsweise des Funktionsmanagers 601 erläutert werden. Springt z.B. das Programm von S610 nach S614, so wird in S614 überprüft, ob das Funktionsregisterbit FCT\_CALC\_n = 1 ist, ob also die Drehzahlberechnung CALC\_n S616 angefordert wurde, die in Fig. 13 dargestellt ist. Ist dies der Fall, so wird nach S616 gesprungen, und die Drehzahlberechnung wird durchgeführt. Bei Beendigung setzt die Drehzahlberechnung CALC\_n S616 das Anforderungsbit FCT\_CALC\_n wieder auf 0 zurück, vgl. S374 in Fig. 13, und es wird wieder an den Anfang S602 des Funktionsmanagers 601 gesprungen.

War in keiner der Abfragen bis S618 ein Anforderungsbit gesetzt, so wird ohne eine Aktion nach S602 zurückgesprungen, und die Funktionen S604 und S606, die bei jedem Durchlauf des Funktionsmanagers 601 ausgeführt werden, werden erneut abgearbeitet.

Durch den Funktionsmanager erhält man eine optimale Ausnutzung der Ressourcen des  $\mu C$  23.

### **Messung der Frequenz f**

**Fig. 9** zeigt ein Zustandsdiagramm für die Messung der Frequenz. Das Zustandsdiagramm weist vier Zustände S1, S2, S3 und S4 sowie sechs Übergänge T1, T2, ..., T6 auf.

Zu jedem Übergang gehört ein Ereignis und eine Aktion.



Die folgende **Tabelle 1** zeigt für jeden Übergang das zugehörige Ereignis und die zugehörige Aktion.

Übergang	Ereignis	Aktion
T1	Interrupt durch Flankenwechsel des Signals f	TIMER1 lesen und speichern, INT_CNT_f erhöhen
T2	Interrupt durch TIMER0 nach Zeit T_A	Frequenzmessung freigeben
T3	Interrupt durch Flankenwechsel des Signals f	TIMER1 lesen und speichern, INT_CNT_f erhöhen
T4	$\text{INT\_CNT\_f} \bmod \text{MOD\_f} = 0$	t_MEAS_f, INT_MEAS_f berechnen, CALC n starten
T5	instantan	keine
T6	instantan	Vorbereitung für neue Messung

Das Zustandsdiagramm aus Fig. 9 wird anhand von Fig. 10 erklärt.

**Fig. 10A** zeigt schematisch einen vierpoligen permanentmagnetischen Rotor 32" und einen Rotorstellungssensor 61, welcher hier z.B. als Hallsensor ausgebildet ist. Der Rotor 32" hat zwei Südpole (S) 35 und 35' und zwei Nordpole (N) 34 und 34'. Der Rotorstellungssensor 61 detektiert das Rotorstellungssignal f, welches bei jedem Wechsel des sich drehenden Rotors 32" von einem Nordpol (N) zu einem Südpol (S) bzw. umgekehrt eine Flanke 110 aufweist. Bei jeder Flanke 110 (Fig. 6B und 10A) des Signals f wird in dem  $\mu\text{C}$  23 ein Hall-Interrupt 630 ausgelöst (Fig. 7). Pro Umdrehung des Rotors 32" werden also vier Hall-Interrupts 630 ausgelöst.

Die Fig. 10B und Fig. 10C zeigen ein zugehöriges Diagramm mit einem Beispielablauf für die Messung der Frequenz f.

**Fig. 10B** zeigt TIMER0-Interrupts 191, 193, 195, welche jeweils nach einer Zeit

T\_A, z.B. T\_A = 25 ms, durch den Timer TIMER0 (im  $\mu$ C 23) ausgelöst werden.

**Fig. 10C** zeigt das Frequenzsignal f, welches von dem Rotorstellungssensor 61 detektiert wird. An den Stellen 197, 199 und 201 werden jeweils die beiden Variablen INT\_MEAS\_f (Anzahl der Flankenwechsel seit der letzten Messung) und t\_MEAS\_f (Zeitpunkt der momentanen Messung) an die Drehzahlberechnung CALC\_n weitergegeben, die nachfolgend bei Fig. 13 erläutert wird.

Der Wert INT\_MEAS\_f wird mit Hilfe eines Flankenzählers INT\_CNT\_f (im  $\mu$ C 23) bestimmt, welcher bei jedem Start einer Messung auf 0 zurückgesetzt und bei jeder Flanke 110 um 1 erhöht wird. Der Wert INT\_MEAS\_f entspricht damit der Variablen N aus Fig. 1 und Fig. 3, also der Zahl der gemessenen Flanken 110.

t\_MEAS\_f wird mit Hilfe von TIMER1 bestimmt, der bevorzugt als Ringzähler ausgebildet ist, was eine lückenlose Erfassung aufeinanderfolgender Werte von t\_MEAS\_f ermöglicht

Die in Klammern angegebenen Zahlen bezeichnen den jeweiligen Zeitpunkt bzw. Zeitbereich, für den der jeweilige Wert gilt. So wird z.B. zum Zeitpunkt 199 der Wert INT\_MEAS\_f(197-199), der die Anzahl der Flanken in dem Bereich von 197 bis 199 enthält, und der Wert t\_MEAS\_f(199), der den Zeitpunkt der Messung bei 199 enthält, an die Drehzahlberechnung CALC\_n S616 übergeben. INT\_MEAS\_f(197-199) beträgt z.B. 8, da 8 Flanken 110 gezählt werden.

**Fig. 10D** zeigt den Wert, der sich bei der Berechnung von INT\_CNT\_f mod 4 ergibt. Die MODULO-Berechnung mit  $N \bmod \text{MOD}_f$  wurde in der Beschreibung zu Fig. 3 erklärt. Der Wert N entspricht in diesem Ausführungsbeispiel dem Wert INT\_CNT\_f, und die Größe MOD\_f wurde gleich vier gewählt, da der Rotor 32" vierpolig ausgebildet ist. Wie in Fig. 10D dargestellt, ändert sich der Wert von INT\_CNT\_f mod 4 bei jeder Flanke 110 des Signals f gemäß der Zahlenfolge 0, 1, 2, 3, 0, 1, 2, ..., und zwar ab Einschalten des Motors.

Anhand von Fig. 9, der Tabelle in der Beschreibung zu Fig. 9 und der Fig. 10 wird nun die Frequenzmessung erläutert.

Zu dem in Fig. 10B bzw. Fig. 10C beliebig gewählten Zeitpunkt  $t = 0$  befindet sich die Frequenzmessung aus Fig. 9 im Zustand S1.

Bei jeder Flanke 110 (Fig. 10A) von f wird ein Hall-Interrupt 630 (Fig. 7) ausgelöst. Dieser bewirkt folgendes:

- Die Routine Hall-Interrupt S631 (Fig. 12) wird durch den Hall-Interrupt 630 ausgelöst,
- in der Routine Hall-Interrupt S631 wird der Zähler INT\_CNT\_f für die Anzahl der Flanken um 1 erhöht (S322 in Fig. 12),
- in der Routine Hall-Interrupt S631 wird der augenblickliche Wert des Ringzählers TIMER1 gespeichert (S322 in Fig. 12).

Auf dem Zustandsdiagramm (Fig. 9) ist dies dargestellt als Übergang T1 von Zustand S1 zu S1. Das Ereignis ist hier ein durch eine Flanke 110 ausgelöster Hall-Interrupt 630, und die Aktion besteht in der Zählung der Flanke 110 im Flanken-zähler INT\_CNT\_f, und der Speicherung des augenblicklichen Wertes des Ringzählers TIMER1.

Ein anderes Ereignis löst den Übergang T2 von Zustand S1 nach Zustand S2 aus. Das Ereignis ist ein Auftreten eines durch den Timer TIMER0 ausgelösten TIMER0-Interrupts. Der Timer TIMER0 löst in vorgegebenen Abständen T\_A (Fig. 1, 3, 10B) einen TIMER0-Interrupt 638 aus, z.B. an den Stellen 191, 193, 195. In der zugehörigen Interruptroutine TIMER0-Interrupt S639 (Fig. 7 und 11) wird die Frequenzmessung freigegeben. Der Timer TIMER0 definiert damit aufeinanderfolgende Fenster mit der Breite T\_A.

Von Zustand S2 aus soll die eigentliche Messung von INT\_MEAS\_f und t\_MEAS\_f stattfinden.

Wie Fig. 10 zeigt, findet die jeweilige Messung nicht genau zu den Zeitpunkten 191, 193 und 195 der Anforderung statt, sondern zu einem geeigneten Zeitpunkt, welcher gewöhnlich etwas später liegt.

Im Zustand S2 werden weiterhin die Flanken 110 des Signals f erfasst, und es findet bei jeder Flanke 110 ein Übergang T3 von S2 nach S2 analog zu T1 statt, in dem der augenblickliche Wert des Ringzählers TIMER1 ausgelesen und gespeichert und der Flanken-zähler INT\_CNT\_f erhöht wird.

Zu der endgültigen Messung der Werte INT\_MEAS\_f und t\_MEAS\_f muss eine

weitere Bedingung erfüllt sein. Wie in der Beschreibung zu Fig. 3 erläutert, sind die Marken, welche auf dem Rotor angebracht sind, also hier die Wechsel der Magnetisierung zwischen Nord und Süd, nicht immer symmetrisch am Rotor 32" angeordnet. Daher ist es vorteilhaft, stets an der selben Marke zu messen, da man so sicher sein kann, dass immer genau an derselben Stelle des Rotors 32" gemessen wird.

Die Anzahl der Flanken 110 des Signals  $f$  wird in der Variablen  $INT\_CNT\_f$  gezählt, und gemäß Gleichung (3) kann die Bedingung, dass bei einem vierpoligen Rotor immer ein Vielfaches von ganzen Umdrehungen gemessen wird, mit

$$INT\_CNT\_f \bmod 4 = 0 \quad (4)$$

erreicht werden, oder alternativ mit

$$INT\_CNT\_f \bmod 8 = 0,$$

wobei im letzteren Fall immer frühestens nach zwei vollen Umdrehungen, oder einem Vielfachen hiervon, gemessen wird. Bei  $INT\_CNT\_f \bmod 12 = 0$  würde frühestens nach drei vollen Umdrehungen gemessen, etc. Hierdurch würde jedoch die Dynamik eines Reglers verschlechtert.

Bei Messung frühestens nach einer vollen Umdrehung muss also die Grösse  $INT\_CNT\_f \bmod 4$  bei jeder Messung denselben Wert haben. Gewöhnlich wird dies der Wert Null sein, weil dann bei einem sechspoligen Rotor mit mod 6 (oder mod 12) gemessen werden kann, bei einem vierpoligen Rotor mit mod 4 (oder mit mod 8), und bei einem zweipoligen Rotor mit mod 2 oder mod 4, so dass nur die entsprechenden Parameter 12, 8, 6, 4 oder 2 in den  $\mu C$  23 eingegeben werden müssen, um diesen auf einen anderen Motor umzustellen.

In Fig. 10D ist das Ergebnis von  $INT\_CNT\_f \bmod 4$  für die jeweilige Flanke angegeben. Beispielsweise ist nach der Anforderung der Messung an der Stelle 193 die Flanke 199, welche die achte Flanke nach der Stelle 197 ist, die erste Flanke, bei welcher die Bedingung  $INT\_CNT\_f \bmod 4 = 0$  der Gleichung (4) erfüllt ist ( $8 \bmod 4 = 0$ ), und deshalb findet an der Stelle 199 eine Messung statt.

Falls also die Anzahl der Flanken ein Vielfaches von  $MOD\_f$ , hier  $MOD\_f = 4$ , ist, findet in Fig. 9 ein Übergang T4 von S2 nach S3 statt, die Anzahl der erfassten Flanken seit der letzten Messung, welche in  $INT\_CNT\_f$  gespeichert ist, wird in  $INT\_MEAS\_f$  gespeichert (S330 in Fig. 12), und der Zeitpunkt der aktuellen

Messung wird in  $t\_MEAS\_f$  gespeichert (S330 in Fig. 12). Die Werte  $INT\_MEAS\_f$  und  $t\_MEAS\_f$  werden daraufhin der Drehzahlberechnung  $CALC\_n$  S616 übergeben, die in Fig. 13 dargestellt ist, vgl. dort S370.

Aus dem aktuellen Wert  $t\_MEAS\_f(199)$  und dem gespeicherten Wert  $t\_MEAS\_f(197)$  der letzten Messung kann die für die in der Variablen  $INT\_MEAS\_f(197-199)$  gezählten Flanken benötigte Zeit  $\Delta t\_MEAS\_f(197-199)$  bestimmt werden.

Eine alternative Möglichkeit, die Zeit  $\Delta t\_MEAS\_f$  zu bestimmen, liegt darin, die Zeit jeweils am Anfang einer Messung auf Null zurückzusetzen. Dies kann z.B. durch Setzen des Timers  $TIMER1$  auf Null erfolgen. Am Ende der Messung entspricht die Zeit dann dem Wert  $\Delta t\_MEAS\_f$ . Hierdurch liegt an den Stellen 197, 199 und 201 direkt  $INT\_MEAS\_f$  und  $\Delta t\_MEAS\_f$  (vgl. Fig. 2) vor. Ein Nachteil des Zurücksetzens des Timer  $TIMER1$  liegt darin, dass er dann schlecht gleichzeitig für andere Messungen verwendet werden kann.

Von Zustand S3 (Fig. 9), in welchem die letzte Messung abgeschlossen ist, führt ein instantaner Übergang T5 zu dem Zustand S4, in welchem eine neue Messung beginnt.

Vom Zustand S4 führt ein instantaner Übergang T6 zu dem Zustand S1, und die Frequenzmessung ist wieder im Ausgangszustand S1. Während T6 wird die nächste Messung vorbereitet. Es wird z.B. der Zähler  $INT\_CNT\_f$  (für die Zahl der Flanken 110) wieder auf Null zurückgesetzt (S330 in Fig. 12).

Die Messung gemäß Fig. 9 und 10 hat mehrere Vorteile:

Bei interruptbasierten Messungen wird man im allgemeinen zur Bestimmung der Drehzahl entweder bei jedem Interrupt oder nach einer festen Anzahl von Interrupts die Zeit zum vorherigen Interrupt messen und daraus die Drehzahl berechnen. Hierdurch kommen bei steigender Drehzahl immer häufiger neue Messwerte, welche verarbeitet werden müssen. Bei sehr hohen Drehzahlen würde dies zu einer Überlastung des  $\mu C$  23 und zur Nichtberücksichtigung von einzelnen Messwerten führen.

Bei dem vorliegenden Messverfahren wird in vorgegebenen Abständen  $T\_A$

jeweils eine neue Messung eingeleitet. Der  $\mu C$  23 wird dadurch bei allen Drehzahlen bzw. Frequenzen gleich belastet.

Weiterhin weist das vorliegende Verfahren den Vorteil auf, dass bei der Messung des Signals  $f$  mindestens bis zum nächsten Interrupt gemessen wird. So wird nicht zu irgendeinem Zeitpunkt, der z.B. in der Mitte zwischen zwei Flanken 110 liegt, gemessen, sondern es wird immer von Flanke zu Flanke gemessen, was die Genauigkeit der Messung erheblich erhöht, vgl. Fig. 10.

Eine weitere Erhöhung der Genauigkeit ergibt die Messung von jeweils einem Vielfachen von  $MOD\_f$  Flankenwechseln, da so z.B. Messfehler durch Magnetisierungsfehler bei einem permanentmagnetischen Rotor bzw. durch Symmetriefehler bei einer von außen zugeführten Frequenz vermieden werden. Dies bedeutet z.B. bei einem vierpoligen Motor, dass eine Messung frühestens beim vierten, beim 8., beim 12. etc. Flankenwechsel erfolgt, nämlich immer dann, wenn  $INT\_CNT\_f \bmod 4 = 0$  ist (Bei einem vierpoligen Rotor werden pro Umdrehung vier Flanken 110 erzeugt).

Für diese Art der Messung bei einem Rotorstellungssignal  $f$  mit einer festen Anzahl von Ereignissen (Impulse in Fig. 3, Flanken 110 in Fig. 10A) pro Umdrehung des Rotors 32" wird  $MOD\_f$  auf diese feste Anzahl gesetzt, so dass jeweils nach einer vollen Umdrehung in der gleichen Stellung des Rotors 32" gemessen wird. Es wird also immer bei dem Ereignis gemessen, welches bei einer bestimmten Rotorstellung des Rotors 32" erzeugt wird. Hierzu ist es nicht notwendig, dass es ein besonderes Ereignis gibt, welches von dem Rotorstellungssensor 61 detektiert wird, und bei welchem bekannt ist, dass eine volle Umdrehung durchlaufen wurde. Vielmehr können alle Ereignisse pro Umdrehung des Rotors 32" identisch sein, da das Messen von ganzen Umdrehungen durch die besondere Art der Messung mit  $MOD\_f$  berücksichtigt wird.

Diese Art der Messung eignet sich in gleicher Weise für die Messung eines Frequenzsignals  $f$ , welches dem  $\mu C$  23 von einem externen Frequenzgenerator zugeführt wird. Solche Signale  $f$  haben eventuell ebenfalls Unsymmetrien während einer Periode der Frequenz  $f$ , wenn z.B. ein Nulldurchgang bei der halben Periode etwas verschoben ist, so dass z.B. eine Messung mit mod 2 oder mod 4 Vorteile haben kann und genauere Resultate bringt.

**Fig. 15** zeigt einen Rotor 32' mit zwei Marken 81 und 82 und dem Rotorstellungssensor 61 analog zu Fig. 3. Das Rotorstellungssignal  $f$  weist Ereignisse in Form von Impulsen an den Stellen 217, 218, 219, ..., 228 auf. Die Impulse werden abwechselnd von der weissen Marke 81 und der schwarzen Marke 82 erzeugt, wenn diese an dem Rotorstellungssensor 61 vorbeidrehen und sind deshalb - zum besseren Verständnis - weiss und schwarz dargestellt. Zusätzlich tritt ein Störimpuls S zwischen den Impulsen 220 und 221 auf. Weiterhin sind Steuersignale 211, 213 und 215 zur Anforderung einer Messung dargestellt.

Unter den Impulsen ist in der Reihe 232 der Wert des Zählers N für die Anzahl der Impulse und in der Reihe 230 das Ergebnis der Berechnung von  $N \bmod 2$  angegeben.

Eine Messung endet/beginnt im Normalfall immer dann, wenn durch ein Steuersignal 211, 213 bzw. 215 eine Messung angefordert ist und zudem der Wert von  $N \bmod 2$  gleich Null ist, wenn sich der Rotor 32' also seit der letzten Messung ein ganzzahliges Vielfaches einer Umdrehung gedreht hat.

Der Störimpuls S bewirkt, dass bei der Messung in dem Zeitraum  $\Delta t(218-223)$  angenommen wird, dass der Rotor 32' zwischen den Impulsen 220 und 221 eine ganze Umdrehung zurückgelegt hat, obwohl er erst eine halbe Umdrehung zurückgelegt hat. Hierdurch wird nach dem Steuersignal 213 anstatt bei dem "weissen" Signal 222 bei dem "schwarzen" Signal 223 gemessen, da  $N \bmod 2$  nach dem Störimpuls S nicht mehr bei den "weissen" Impulsen den Wert Null hat, sondern bei den "schwarzen" Impulsen.

Schon in dem folgenden Zeitraum  $\Delta t(223-227)$  funktioniert die Messung jedoch wieder richtig, da jetzt jeweils bei "schwarzen" Impulsen gemessen wird. Es findet also durch den Störimpuls S eine Verschiebung der Stellung des Rotors 32' statt, an der gemessen wird. Dasselbe würde gelten, wenn ein Impuls fehlt. Das Messverfahren arbeitet also nach einem Fehlersignal S richtig weiter und misst weiterhin ein Vielfaches von einer ganzen Umdrehung. Dies stellt einen wichtigen Vorteil dieser Ausführungsform dar.

**Flussdiagramme zur Messung von  $f$**

Die Fig. 11 und Fig. 12 zeigen Flussdiagramme zu einem Programm für die in Fig. 9 und 10 beschriebene Messung.

**Fig. 11** zeigt die Routine TIMER0-Interrupt S639 (Fig. 7), welche jeweils nach der Zeit T\_A (Fig. 10) die Frequenzmessung anfordert, welche anschließend in der Routine Hall-Interrupt S631 stattfindet.

Es werden folgende Variablen benutzt

CNT\_T\_A        Interner Zähler für die Zeit T\_A  
T\_A\_TIME       Grenzwert für neue Messung  
DO\_MEAS\_f     Flag zum Aufrufen der Frequenzmessung

Bei jedem Auftreten eines TIMER0-Interrupts 638 (Fig. 7) wird die TIMER0-Interruptroutine S639 ausgeführt.

In S352 werden evtl. weitere, hier nicht ausgeführte Schritte durchlaufen, falls z.B. durch den Timer TIMER0 andere Programmteile gesteuert werden sollen.

In S354 beginnt ein Subtimer Subtimer\_T\_A. Subtimer bedeutet, dass durch die im folgenden erläuterten Schritte S356, S358 und S362 die eigentliche Aktion in S360 erst nach einer bestimmten Anzahl von TIMER0-Interrupts ausgelöst wird. Dies hat den Vorteil, dass der Timer TIMER0 auch für andere Zwecke verwendet werden kann, welche häufiger aufgerufen werden müssen.

In S356 wird der interne Zähler CNT\_T\_A um 1 erhöht.

In S358 wird überprüft, ob der Zähler CNT\_T\_A größer oder gleich dem Wert T\_A\_TIME ist.

Falls nein, so wird sofort an das Ende S364 gesprungen, und die TIMER0-Interruptroutine wird mit dem Befehl "RETI" verlassen.

Falls jedoch in S358 der Zähler CNT\_T\_A den Wert T\_A\_TIME erreicht hat, so wird in S360 DO\_MEAS\_f auf 1 gesetzt.

Mit DO\_MEAS\_f = 1 wird der Interruptroutine Hall-Interrupt S631 (Fig. 12)



mitgeteilt, dass eine Messung der Frequenz  $f$  gestartet werden soll.

Der Aufruf in S360 findet z.B. alle 25 ms statt, wenn der TIMER0-Interrupt alle 10  $\mu$ s ausgelöst wird, und der Wert  $T\_A\_TIME = 2500$  ist.

Die Zeit  $T\_A$  muss an den jeweiligen Motor angepasst werden. Gibt der Rotorstellungssensor 61 z.B. viele Ereignisse pro Umdrehung des Rotors 32, und dreht der Rotor 32 schnell, so kann  $T\_A$  kürzer gewählt werden. Dreht der Rotor 32 jedoch langsam, so muss  $T\_A$  länger, z.B.  $T\_A = 250$  ms, gewählt werden

In S362 wird der Zähler  $CNT\_T\_A$  wieder auf Null zurückgesetzt, um den Subtimer Subtimer\_ $T\_A$  neu zu starten.

In Fig. 10 findet der Aufruf von S360 an den Stellen 191, 193 und 195 statt.

**Fig. 12** zeigt ein Ausführungsbeispiel für die Interruptroutine Hall-Interrupt S631, welche bei jedem durch das Auftreten einer Flanke 110 (Fig. 4B) des Signals  $f$  ausgelösten Hall-Interrupt 630 ausgeführt wird. Dieser Interrupt wird so bezeichnet, weil er gewöhnlich durch das Signal eines Hallgenerators 61 (im Motor M 32) ausgelöst wird. Selbstverständlich könnte er ebenso durch eine optischen oder mechanischen Sensor ausgelöst werden, und man könnte ihn auch als sensorgesteuerten Interrupt bezeichnen.

Es werden folgende Variablen benutzt

$INT\_CNT\_f$	Interruptzähler für die Erfassung der Flanken des Signals $f$
$INC\_f$	Inkrementwert
$t\_END\_f$	Zeitpunkt des letzten Interrupts der Erfassung
$MOD\_f$	Anzahl der Interrupts für mod-Berechnung, vgl. die Gleichungen (3) und (3a)
$t\_MEAS\_f$	Gemessene Zeit des letzten Interrupts
$INT\_MEAS\_f$	Zahl der gemessenen Interrupts seit der letzten Messung
$DO\_MEAS\_f$	Flag zum Aufrufen der Frequenzmessung
$FCT\_CALC\_n$	Funktionsregisterbit der Funktion $CALC\_n$ S616 (Fig. 7 und 8)

In S302 können beliebige Schritte ausgeführt werden.

Die Routine Hall-Interrupt S631 sorgt bei einem elektronisch kommutierten Motor

in COMMUT S304 für die elektronische Kommutierung. Diese entfällt bei einem Kollektormotor.

In MEAS\_f S320 beginnt die Erfassung und Messung des Signals f. In S322 wird der Interruptzähler INT\_CNT\_f, welcher z.B. 1 Byte groß ist, um den Wert INC\_f, z.B. INC\_f = 1, erhöht, und der Wert t\_TIMER1 des Ringzählers TIMER1 wird in t\_END\_f gespeichert. Damit sind sowohl die Anzahl der Interrupts als auch die momentane Zeit erfasst.

In S324 wird mit  $\text{INT\_CNT\_f} \bmod \text{MOD\_f} = 0$  überprüft, ob der Interruptzähler INT\_CNT\_f ein Vielfaches von MOD\_f ist. Bei MOD\_f = 4 ist z.B. INT\_CNT\_f = 20 ein Vielfaches von MOD\_f, also  $20 \bmod 4 = 0$ . Falls INT\_CNT\_f nicht ein Vielfaches von MOD\_f ist, so wird an das Ende S334 der Interruptroutine gesprungen. Falls INT\_CNT\_f ein Vielfaches von MOD\_f ist, so wird in S326 überprüft, ob DO\_MEAS\_f = 1 ist, ob also in dem Schritt S360 der Interruptroutine TIMER0-Interrupt S639 (Fig. 11) eine Messung der Frequenz f angefordert wurde. Falls nein, soll noch nicht gemessen werden, und es wird an das Ende S334 gesprungen. Falls ja, so wird in S328 anhand des Funktionsregisterbits FCT\_CALC\_n überprüft, ob die letzte Drehzahlberechnung bereits abgeschlossen ist. Falls FCT\_CALC\_n = 1 ist, so wird an das Ende S334 gesprungen. Dies verhindert, dass Messungen verlorengehen, wenn die Drehzahlberechnung CALC\_n S616 zu viel Zeit benötigt. Dieser Sonderfall tritt im normalen Betrieb nicht auf.

In S330 werden die Variablen t\_MEAS\_f und INT\_MEAS\_f gesetzt, welche der Drehzahlberechnung CALC\_n S616 übergeben werden, die bei Fig. 13 beschrieben wird.

Hierzu wird t\_MEAS\_f auf den letzten erfassten Timerwert t\_END\_f des Ringzählers TIMER1 gesetzt, INT\_MEAS\_f wird auf den Wert des Interruptzählers INT\_CNT\_f gesetzt, und INT\_CNT\_f wird auf Null zurückgesetzt.

In S332 wird die Drehzahlberechnung CALC\_n S616 (Fig. 13) durch Setzen von FCT\_CALC\_n auf 1 angefordert, und die Messanforderung wird durch Zurücksetzen von DO\_MEAS\_f auf Null zurückgesetzt.

Die Routinen TIMER0-Interrupt S639 (Fig. 11) und Hall-Interrupt S631 (Fig. 12)

bewirken somit zusammen eine Messung der Frequenz, wie sie in Fig. 9 beschrieben ist.

Falls der  $\mu\text{C}$  23 die Operation mod nicht beherrscht, bestehen andere Möglichkeiten.

Bei vielen  $\mu\text{Cs}$  ergibt eine ganzzahlige Division mit dem Befehl "div" als Ergebnis sowohl den ganzzahligen Quotienten als auch den nicht-negativen Rest. So ergibt z.B.  $7 \text{ div } 4$  als Ergebnis den Quotienten 1 und den Rest 3. Bei solchen  $\mu\text{Cs}$  kann die Operation div zur Berechnung des Restes verwendet werden, und es wird dann nur zu Zeitpunkten gemessen, an denen der Rest jeweils denselben Wert hat.

Eine weitere Möglichkeit der Berechnung von  $X \text{ mod } \text{MOD\_f}$  besteht z.B. in der Verwendung einer weiteren Variablen MOD\_CNT, welche bei jeder Erhöhung der Variablen X ebenfalls erhöht wird, und welche bei Erreichen von MOD\_f jeweils auf Null zurückgesetzt wird. Die Variable MOD\_CNT gibt dann das Ergebnis von  $X \text{ mod } \text{MOD\_f}$  wieder.

**Fig. 13** zeigt die Routine CALC\_n S616, welche nach der Messung des Timerwerts t\_MEAS\_f und der Anzahl der Flanken 110 (Fig. 4) des Signals f in INT\_MEAS\_f durch die Routine Hall-Interrupt (S332 in Fig. 12) angefordert wird.

Es werden folgende Variablen benutzt

$\Delta t\_CALC\_f$	Zeitdifferenz zur letzten Messung
t_OLD_f	Zeitpunkt der letzten Messung
t_MEAS_f	Zeitpunkt der momentanen Messung
INT_CALC_f	Anzahl der Interrupts seit der letzten Messung für die Berechnung
INT_MEAS_f	Übergebene Anzahl der Interrupts seit der letzten Messung
n	Drehzahl des Motors M
REM_n	Rest der ganzzahligen Division
const_f	Faktor zur Parametrierung von INT_CALC_f
REM_n_OLD	Rest der ganzzahligen Division der letzten Berechnung

In S370 wird die Differenz zwischen dem Timerwert t\_OLD\_f der letzten Messung und dem aktuellen Timerwert t\_MEAS\_f berechnet und in der Variablen  $\Delta t\_CALC\_f$  gespeichert, welche dem Wert  $\Delta t\_MEAS\_f$  aus Fig. 10 entspricht. Die

Differenz wird bei Ringzählern üblicherweise mit Hilfe des Zweierkomplements gebildet. Der aktuelle Timerwert  $t\_MEAS\_f$  wird daraufhin für die nächste Messung in  $t\_OLD\_f$  gespeichert, und die gemessene Anzahl der Interrupts  $INT\_MEAS\_f$  wird in  $INT\_CALC\_f$  gespeichert.

In S372 geschieht die Berechnung der Drehzahl  $n$ . Diese ist proportional zu dem Quotienten aus der Anzahl der Interrupts  $INT\_CALC\_f$ , einem Maß für die Anzahl der Umdrehungen, und der hierfür benötigten Zeit  $\Delta t\_CALC\_f$ . Es gilt

$$n = const\_f * INT\_CALC\_f / \Delta t\_CALC\_f \quad (5)$$

$const\_f$  ist eine Proportionalitätskonstante.

Der Interruptzähler  $INT\_CALC\_f$ , welcher in diesem Ausführungsbeispiel z.B. 4 Byte groß ist, wird mit  $const\_f$  multipliziert.

Die Konstante  $const\_f$  kann entweder so gewählt werden, dass das Ergebnis der Division in S372 den Bereich, den der Wert  $n$ , welcher z.B. zwei Byte bzw. 16 Bit groß ist, gut ausnutzt. Dies kann z.B. erreicht werden, indem  $const\_f$  so gewählt wird, dass bei der Anzahl der Impulse bei der maximalen Drehzahl dividiert durch die Messfensterzeit  $T\_A$  die Drehzahl ungefähr den Wert  $2^{15}$  (wenn der Wert  $n$  16 Bit groß ist) erhält. Hierdurch erhält man eine hohe Genauigkeit, die Drehzahl  $n$  entspricht jedoch nicht der Drehzahl  $n\_phys$ , gemessen in U/min.

Falls die Drehzahl  $n$  der Drehzahl  $n\_phys$  mit der Einheit U/min entsprechen soll, so muss  $const\_f$  als

$$const\_f = 60 * TF / MOD\_f \quad (6)$$

gewählt werden, wobei  $TF$  ein Zeitfaktor ist, der aus dem Kehrwert der Zeiteinheit des Ringzählers  $TIMER1$  in s gebildet wird. Ist z.B. die Zeiteinheit des Timers  $TIMER1$   $1 \mu s = 10^{-6} s$ , so wird  $TF = 10^6$  gewählt. Für einen vierpoligen Motor  $M$  mit  $MOD\_f = 4$  und  $TF = 10^6$  ergibt sich z.B.  $const\_f = 15.000.000$ .

Für die Berechnung der Drehzahl  $n$  wird eine ganzzahlige Division  $div$  verwendet, welche als Ergebnis den ganzzahligen Quotienten  $n$  und den positiven Rest  $REM\_n$  ergibt. Für eine Beschreibung des Operators  $div$  vgl. die Erläuterungen zu Fig. 10.

Als Beispiel folgt die Berechnung der Drehzahl für den Bereich zwischen den Stellen 197 und 199 aus Fig. 10:

INT\_MEAS\_f ist ein Byte groß, INT\_CALC vier Byte und  $\Delta t\_CALC\_f$  zwei Byte.

INT\_MEAS\_f(197-199) hat den Wert 8, es wurden also seit der letzten Messung zum Zeitpunkt  $t\_MEAS\_f(197)$  acht Flanken 110 des Hallsignals (Fig. 10A) gezählt. INT\_CALC\_f bekommt in S370 den Wert  $INT\_MEAS\_f(197-199) = 8$  zugewiesen. In S372 wird INT\_CALC\_f mit  $const\_f = 15.000.000$  multipliziert und erhält den Wert 120.000.000.

$\Delta t\_MEAS\_f(197-199)$  hat den Wert 26.700, welcher bei einer Auflösung des Ringzählers TIMER1 von 1  $\mu s$  einer Zeit von 26,7 ms entspricht.  $\Delta t\_CALC\_f$  bekommt in S370 den Wert  $\Delta t\_MEAS\_f(197) = 26.700$  zugeordnet.

Die Division von INT\_CALC\_f durch  $\Delta t\_CALC\_f$  ergibt die Drehzahl  $n = 4494$  und den Rest  $REM\_n = 10200$ .

Die physikalische Drehzahl  $n\_phys$  entspricht der Anzahl der Umdrehungen pro Minute. Aus 8 Hallwechseln geteilt durch 4 Hallwechsel pro Umdrehung (vierpoliger Rotor) ergeben sich 2 Umdrehungen, und die hierfür benötigte Zeit beträgt 0,0267 s. Damit ergibt sich eine physikalische Drehzahl  $n\_phys = 2 / 0,0267 \text{ U/s} = 74,906 \text{ U/s} = 4494,4 \text{ U/min}$ .

In der Berechnung wird auch der Rest  $REM\_n\_OLD$  der vorhergehenden Drehzahlberechnung durch Addition zu dem Produkt aus INT\_CALC\_f und  $const\_f$  berücksichtigt.

In dem obigen Beispiel weicht z.B. die berechnete Drehzahl  $n$  ab, da die Division die ganze Zahl 4494 anstelle des eigentlichen Ergebnisses von ca. 4494,4 ergibt. Die Differenz geht jedoch nicht verloren, sondern sie wird bei der folgenden Division in S372 durch die Addition des Restes  $REM\_n\_OLD$  der letzten Division zum Zähler (Englisch: numerator) berücksichtigt.

Durch die Berücksichtigung des Restes  $REM\_n\_OLD$  wird in vorteilhafter Weise erreicht, dass keine Information verlorengeht, und sie führt zu einer messbaren Verbesserung des Reglers, sofern sie verwendet wird.

Nach der Berechnung von  $n$  und  $REM\_n$  wird in S372 der Rest  $REM\_n$  in

REM\_n\_OLD für die nächste Berechnung gespeichert.

In S374 wird das Funktionsregisterbit FCT\_CALC\_n (Fig. 8; Fig. 12, S332) wieder auf Null zurückgesetzt, da die Drehzahlberechnung abgeschlossen ist.

Daraufhin wird an den Anfang S602 des Funktionsmanagers (Fig. 7) gesprungen.

### Reglerfunktion RGL

**Fig. 14** zeigt beispielhaft ein Flussdiagramm für ein Ausführungsbeispiel der Reglerfunktion RGL S620 (Fig. 7), welche aus der Drehzahl  $n$  und einer Solldrehzahl  $n_s$ , welche z.B. fest vorgegeben ist, einen Stellwert RGL\_VAL berechnet und diesen ausgibt.

Es werden folgende Variablen benutzt

RGL_DIFF	Regeldifferenz
RGL_PROP	Proportionalanteil
RGL_P	Proportionalfaktor
RGL_INT	Integralanteil
RGL_I	Integralfaktor
RGL_VAL	Vom Regler berechneter Stellwert
RGL_MAX	Maximaler Stellwert

In S530 wird die Regeldifferenz RGL\_DIFF als

$$\text{RGL\_DIFF} := n_s - n \quad (7)$$

berechnet.

In S352 ist ein PI-Regler dargestellt.

Der Proportionalanteil RGL\_PROP wird durch Multiplikation der Regeldifferenz RGL\_DIFF mit dem Proportionalfaktor RGL\_P berechnet.

Der neue Integralanteil RGL\_INT wird durch Addition des vorhergehenden Integralanteils und der mit dem Integralfaktor RGL\_I multiplizierten Regeldifferenz RGL\_DIFF berechnet. Bevorzugt steht dem Integralanteil RGL\_INT so viel Speicher zur Verfügung, dass keine Information der Regeldifferenz verloren geht.

Der Stellwert RGL\_VAL ergibt sich aus der Summe des Proportionalanteils RGL\_PROP und des Integralanteils RGL\_INT.

In den Schritten S534 bis S540 wird eine Bereichsüberprüfung des Stellwerts RGL\_VAL durchgeführt.

Ist der Stellwert RGL\_VAL in S534 kleiner als Null, so wird er in S536 auf Null gesetzt.

Ist der Stellwert RGL\_VAL in S538 größer als der maximal zulässige Wert RGL\_MAX, so wird er in S540 auf RGL\_MAX gesetzt.

Liegt der Wert von RGL\_VAL innerhalb eines zulässigen Bereichs, so wird er unverändert verwendet.

In S542 wird das Register SW eines  $\mu$ C-internen D/A-Wandlers auf den Stellwert RGL\_VAL gesetzt, und das Signal SW wird an das Stellglied 63 ausgegeben.

Die Reglerfunktion S620 ist damit abgearbeitet, und das Funktionsregisterbit FCT\_RGL wird in S544 zurückgesetzt.

Daraufhin wird an den Anfang S602 des Funktionsmanagers (Fig. 7) zurückgesprungen.

Naturgemäß sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung vielfache Abwandlungen und Modifikationen möglich. Z.B. kann die vorliegende Erfindung auch im Rahmen anderer Regler verwendet werden, oder auch ohne Regler zur Messung einer Drehzahl, oder einer Frequenz, die in Form einer Impulsfolge zugeführt wird. Die Erfindung wurde zwar in Verbindung mit einem Elektromotor beschrieben, weil das eine bevorzugte Anwendung darstellt, eignet sich aber in gleicher Weise für Brennkraftmaschinen, Turbinen etc.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung einer Information über die Drehzahl eines rotierenden, im folgenden Rotor genannten Objekts, dem ein Rotorstellungssensor zugeordnet ist, welcher ein Rotorstellungssignal liefert, welches pro Umdrehung des Rotors eine feste Anzahl von Ereignissen nach Art von Impulsen, Flanken oder dergleichen aufweist, mit folgenden Schritten:
  - a) Zu einem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt wird die Messung einer Drehzahlinformation eingeleitet;
  - b) ein zweiter Zeitpunkt wird ermittelt, an dem ein dem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt folgendes Ereignis des Rotorstellungssignals auftritt;
  - c) die Anzahl der folgenden Ereignisse des Rotorstellungssignals wird erfasst;
  - d) zu einem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt wird die Beendigung der Messung der Drehzahlinformation eingeleitet;
  - e) ein vierter Zeitpunkt wird ermittelt, an dem ein dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgendes Ereignis des Rotorstellungssignals auftritt;
  - f) aus dem zeitlichen Abstand zwischen zweitem Zeitpunkt und viertem Zeitpunkt sowie der Anzahl der Ereignisse des Rotorstellungssignals zwischen diesen Zeitpunkten wird die Drehzahlinformation berechnet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem für die Ermittlung des vierten Zeitpunkts als dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgendes Ereignis das nächstfolgende Ereignis des Rotorstellungssignals gewählt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei welchem für die Ermittlung des vierten Zeitpunkts als dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgendes Ereignis dasjenige nächste Ereignis des Rotorstellungssignals gewählt wird, bei welchem die Anzahl der Ereignisse seit dem zweiten Zeitpunkt gleich einem Produkt  $a \cdot N$  ist, wobei  $a$  und  $N$  ganze Zahlen sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei welchem die Zahl  $N$  der festen Anzahl von Ereignissen pro Umdrehung des Rotors entspricht.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4,



bei welchem fortlaufend Messungen gemäß Anspruch 1 stattfinden.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei welchem die ersten, vorgegebenen Zeitpunkte vorgegebene zeitliche Abstände aufweisen, und bei welchem die dritten, vorgegebenen Zeitpunkte jeweils einen im wesentlichen konstanten zeitlichen Abstand von den zugeordneten ersten, vorgegebenen Zeitpunkten haben.
7. Verfahren nach Ansprüchen 5 oder 6, bei welchem der dritte, vorgegebene Zeitpunkt einer Messung dem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt einer folgenden Messung entspricht.
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei welchem der vierte Zeitpunkt einer Messung dem zweiten Zeitpunkt einer folgenden Messung entspricht.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, bei welchem eine Drehzahlinformation durch Division der Anzahl der Ereignisse des Rotorstellungssignals zwischen dem zweiten und dem vierten Zeitpunkt durch den zeitlichen Abstand zwischen diesen beiden Zeitpunkten erzeugt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, bei welchem die Drehzahlinformation durch eine Multiplikation mit einem konstanten Faktor parametrierbar wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei welchem der konstante Faktor so gewählt ist, dass die Drehzahlinformation im wesentlichen einer physikalischen Drehzahl entspricht.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, bei welchem die Division mit einem der Anzahl der Impulse zwischen dem zweiten und dem vierten Zeitpunkt proportionalen Zähler (Englisch: numerator) und einem der Zeitdauer zwischen zweitem und vierten Zeitpunkt proportionalen Nenner (Englisch: denominator) als Ergebnis eine ganzzahlige Drehzahlinformation und einen Rest ergibt, und bei welchem der sich ergebende Rest einer Messung durch Addition zum Zähler (Englisch: numerator) der nachfolgenden Messung berücksichtigt wird.

13. Verfahren zur Gewinnung einer Information über die Drehzahl eines rotierenden, im folgenden Rotor genannten Objekts, mit einem Rotorstellungssensor, welcher ein Rotorstellungssignal liefert, welches pro Umdrehung des Rotors eine feste Anzahl von Ereignissen aufweist, mit folgenden Schritten:
- a) Während einer ersten Messdauer ( $T_{M1}$ ) wird die Anzahl der Ereignisse des Rotorstellungssignals detektiert,
  - b) eine ganzzahlige Division mit der Anzahl der Ereignisse während der ersten Messdauer ( $T_{M1}$ ) als Zähler (Englisch: numerator) und der ersten Messdauer ( $T_{M1}$ ) als Nenner (Englisch: denominator) erzeugt als Ergebnis eine erste ganzzahlige Drehzahlinformation und einen Rest,
  - c) der Rest der Division wird bei einer Division einer folgenden Messung während einer zweiten Messdauer ( $T_{M2}$ ) durch Addition auf den Zähler (Englisch: numerator) berücksichtigt.
14. Vorrichtung zur Gewinnung einer Information über die Drehzahl eines rotierenden, im folgenden Rotor (32; 32'; 32'') genannten Objekts, mit einem Rotorstellungssensor (61), welcher ein Rotorstellungssignal (f) liefert, das pro Umdrehung des Rotors (32; 32'; 32'') eine feste Anzahl von Ereignissen (Fig. 10: 110) aufweist, mit einer Quelle (23) für Steuersignale (Fig. 10: 191, 193, 195), mit einem Zähler (INT\_CNT\_f) für Ereignisse (110) des Rotorstellungssignals (f), mit einer programmgesteuerten Vorrichtung (23) zum Auswerten der zuvor genannten Signale, welcher ein Programm zugeordnet ist, welches zur Ausführung der folgenden Schritte ausgebildet ist:
- a) Durch ein erstes Steuersignal (Fig. 10: 191) wird die Messung einer Drehzahlinformation eingeleitet;
  - b) ein erster Zeitpunkt (Fig. 10: 197) wird ermittelt, an dem ein dem ersten Steuersignal (Fig. 10: 191) folgendes Ereignis (110) des Rotorstellungssignals (f) auftritt;
  - c) die Anzahl der folgenden Ereignisse (110) des Rotorstellungssignals (f) wird durch den Zähler (INT\_CNT\_f) erfasst;
  - d) durch ein zweites Steuersignal (Fig. 10: 193) wird die Beendigung der Messung der Drehzahlinformation eingeleitet;
  - e) ein zweiter Zeitpunkt (Fig. 10: 199) wird ermittelt, an dem ein dem zweiten

Steuersignal (Fig. 10: 193) folgendes Ereignis des Rotorstellungssignals (f) auftritt;

- f) aus dem zeitlichen Abstand (Fig. 10:  $\Delta t_{\text{MEAS-f}}(197-199)$ ) zwischen erstem Zeitpunkt (Fig. 10: 197) und zweitem Zeitpunkt (Fig. 10: 199) sowie der Anzahl (N) der Ereignisse (110) des Rotorstellungssignals (f) zwischen diesen beiden Zeitpunkten wird eine Drehzahlinformation berechnet.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, bei welcher der Geber für die Steuersignale einen Timer (TIMER0) aufweist.
16. Vorrichtung nach Anspruch 15, bei welcher der Timer (TIMER0) als Steuersignal jeweils einen Interrupt (TIMER0-Interrupt) auslöst.
17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16, bei welcher zur Messung des zeitlichen Abstands zwischen erstem und zweitem Zeitpunkt ein Timer (TIMER1) vorgesehen ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 17, bei welcher der Timer (TIMER1) zur Messung des zeitlichen Abstands zwischen erstem und zweitem Zeitpunkt als Ringzähler ausgebildet ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18, bei welcher der Ringzähler (TIMER1) fortlaufend zählt, und das Ende einer abgelaufenen Messung mit dem Beginn einer neuen Messung identisch ist.
20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 19, bei welcher als Rotorstellungssignale die Signale eines elektronisch kommutierten Motors dienen.
21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 20, bei welcher der Zähler (INT\_CNT\_f) für Ereignisse (110) des Rotorstellungssignals (f) in der programmgesteuerten Vorrichtung (23) vorgesehen ist.
22. Verfahren zum Ermitteln einer Frequenz aus einem Signal (f), welches Frequenzinformationen nach Art von Impulsen, Flanken oder dergleichen aufweist, mit folgenden Schritten:
  - a) Zu einem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt wird die Messung einer

Frequenz eingeleitet;

- b) ein zweiter Zeitpunkt wird ermittelt, an dem eine dem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt folgende Frequenzinformation des Signals (f) auftritt;
- c) die Zahl der folgenden Frequenzinformationen des Signals wird erfasst;
- d) zu einem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt wird die Beendigung der Messung der Frequenz eingeleitet;
- e) ein vierter Zeitpunkt wird ermittelt, an dem eine dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgende Frequenzinformation des Signals auftritt;
- f) aus dem zeitlichen Abstand zwischen zweitem Zeitpunkt und viertem Zeitpunkt sowie der Zahl der Frequenzinformationen des Signals zwischen diesen Zeitpunkten wird eine die Frequenz charakterisierende Größe berechnet.

- 23. Verfahren nach Anspruch 22, bei welchem für die Ermittlung des vierten Zeitpunkts als dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgende Frequenzinformation die nächstfolgende Frequenzinformation des Signals (f) gewählt wird.
- 24. Verfahren nach Anspruch 22, bei welchem für die Ermittlung des vierten Zeitpunkts als dem dritten, vorgegebenen Zeitpunkt folgende Frequenzinformation diejenige nächste Frequenzinformation des Signals gewählt wird, bei welcher die Anzahl der Frequenzinformationen seit dem zweiten Zeitpunkt einem ganzzahligen Vielfachen einer ganzen Zahl aus der Reihe 2, 3, 4, ... entspricht.
- 25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, bei welchem fortlaufend Messungen vorgenommen werden und die dritten, vorgegebenen Zeitpunkte jeweils einen im wesentlichen konstanten zeitlichen Abstand von den zugeordneten ersten, vorgegebenen Zeitpunkten haben.
- 26. Verfahren nach Anspruch 25, bei welchem der dritte, vorgegebene Zeitpunkt einer Messung dem ersten, vorgegebenen Zeitpunkt einer folgenden Messung entspricht.
- 27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, bei welchem der vierte Zeitpunkt einer Messung dem zweiten Zeitpunkt einer folgenden Messung entspricht.

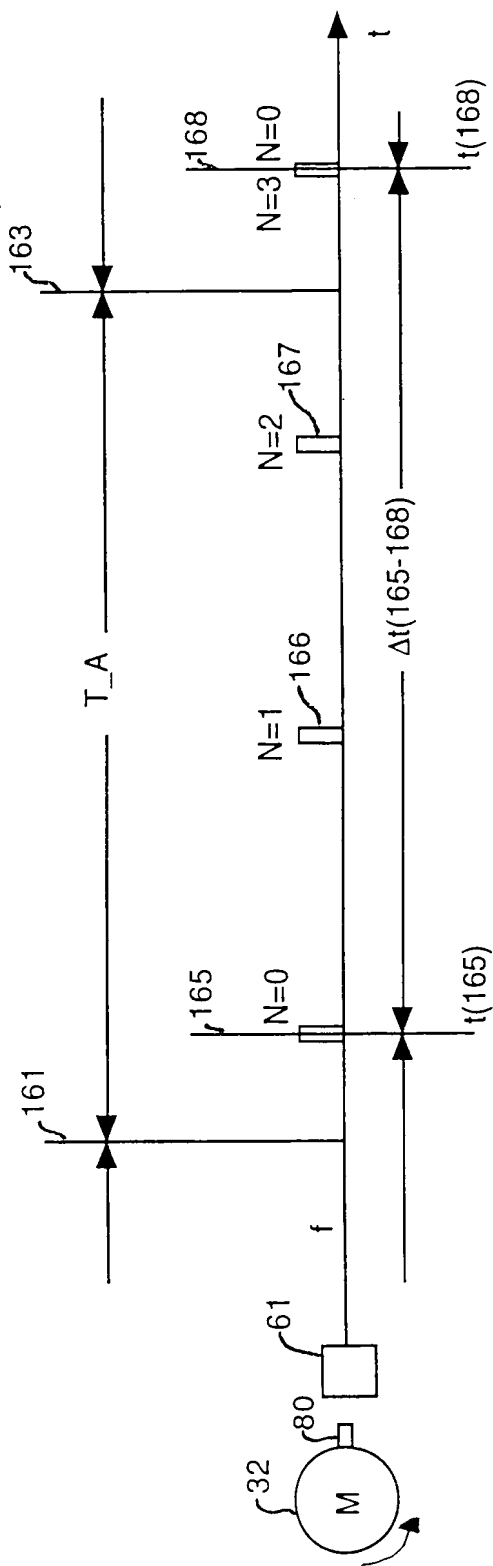


Fig. 1

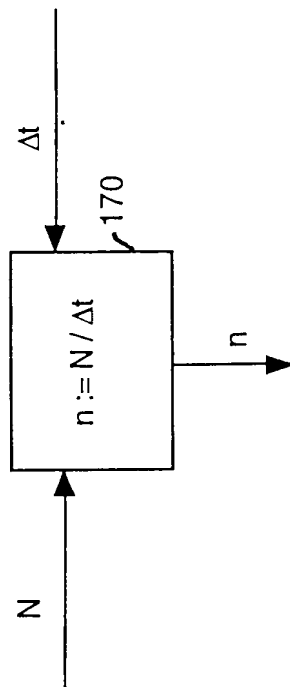


Fig. 2

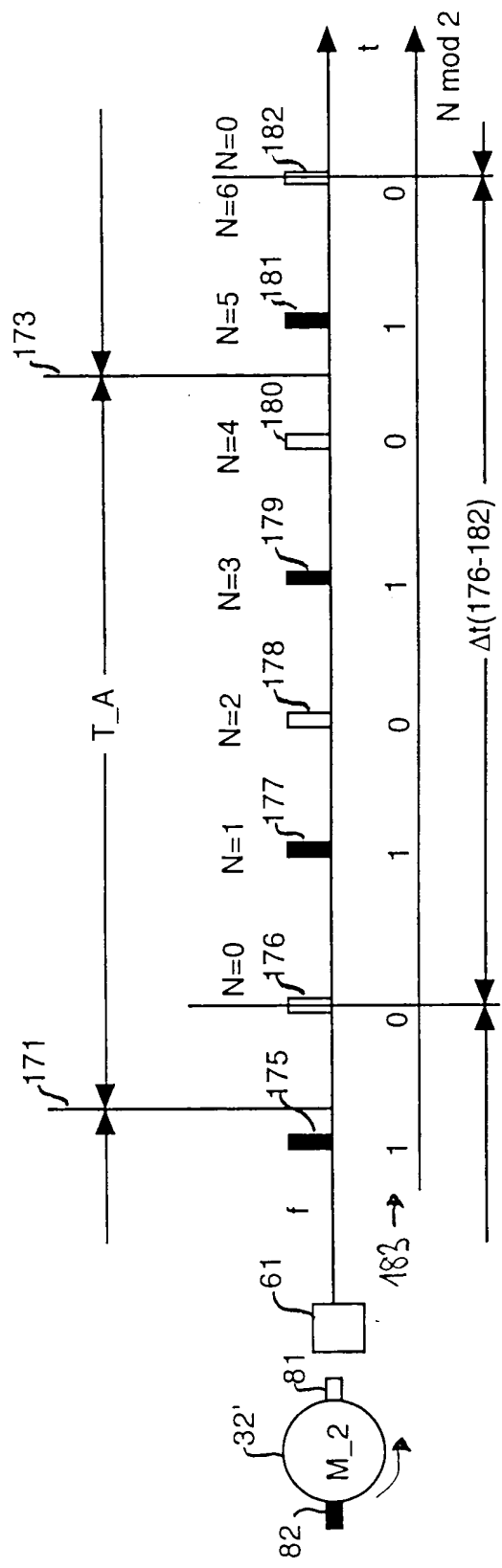


Fig. 3

3/14

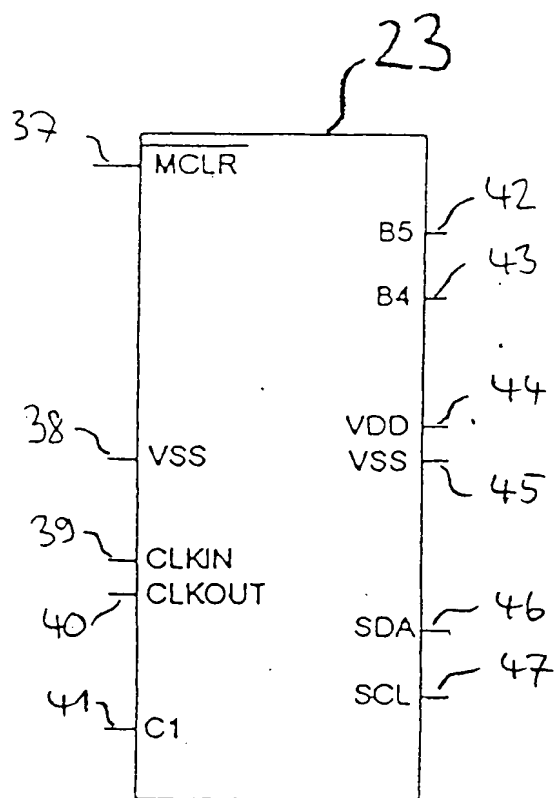


Fig. 4

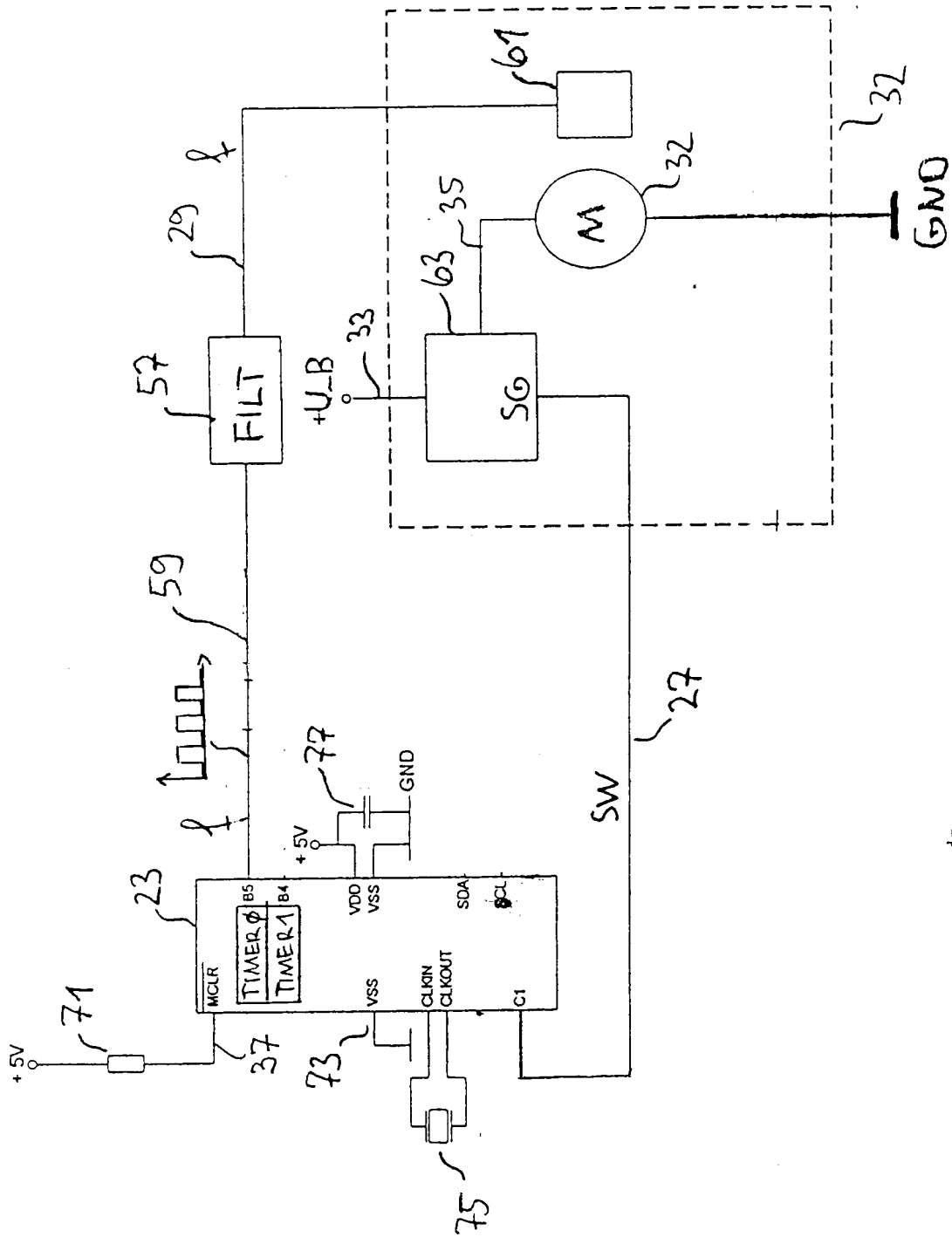


Fig. 5



5114

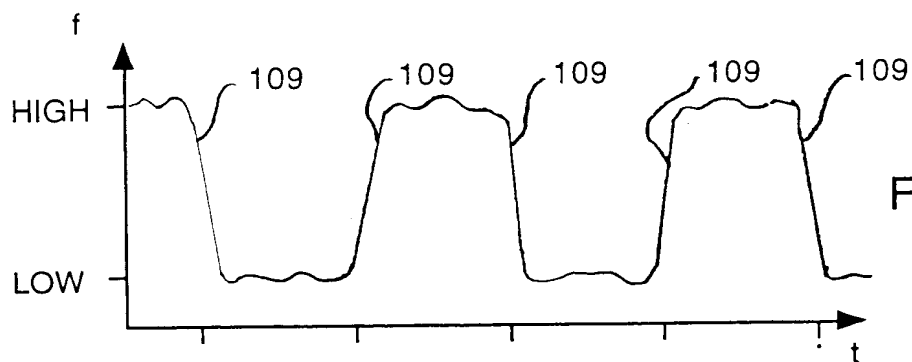


Fig. 6A

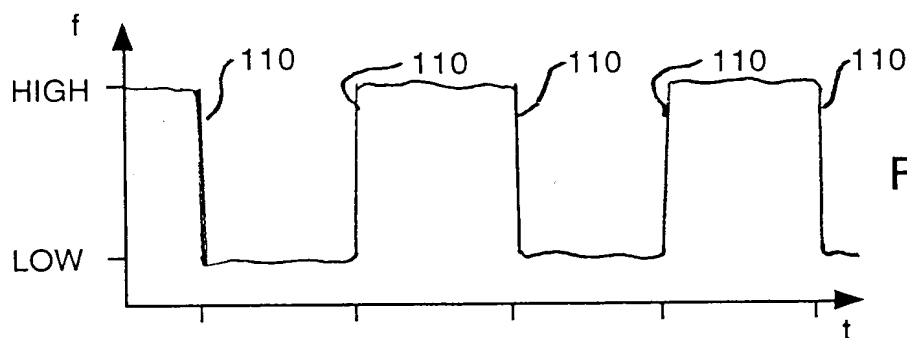


Fig. 6B

Fig. 6

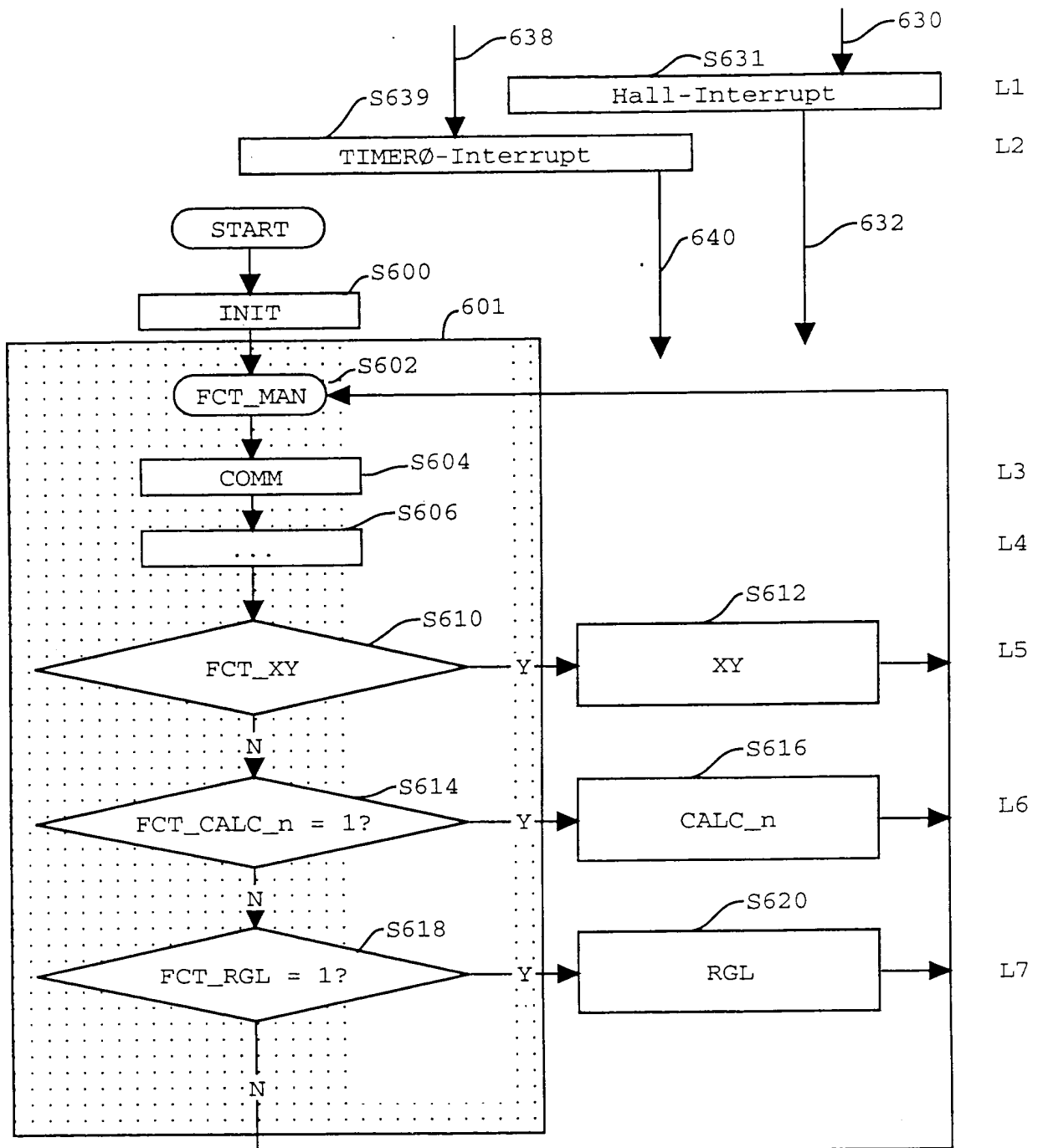


Fig. 7

7114

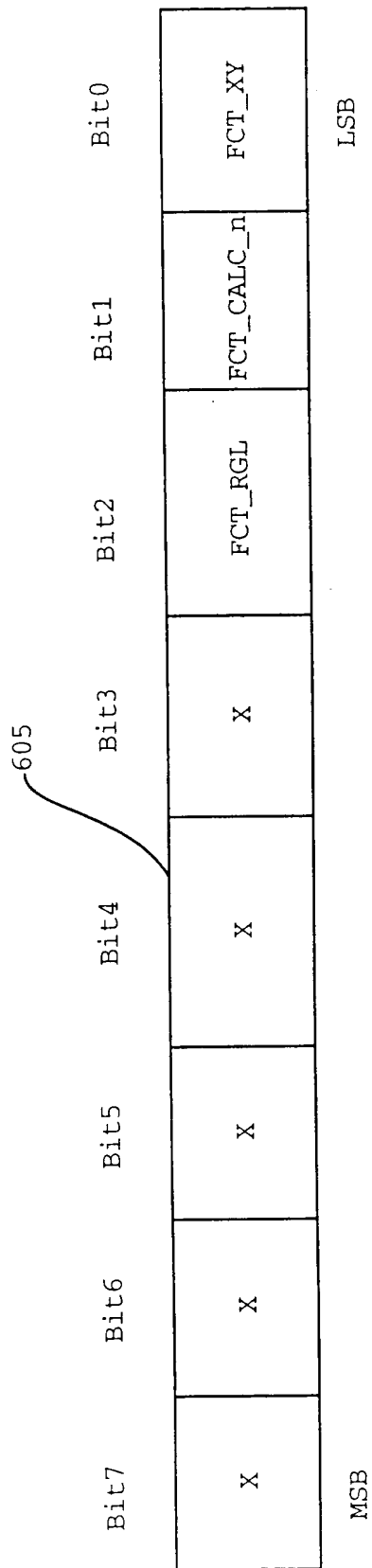


Fig. 8

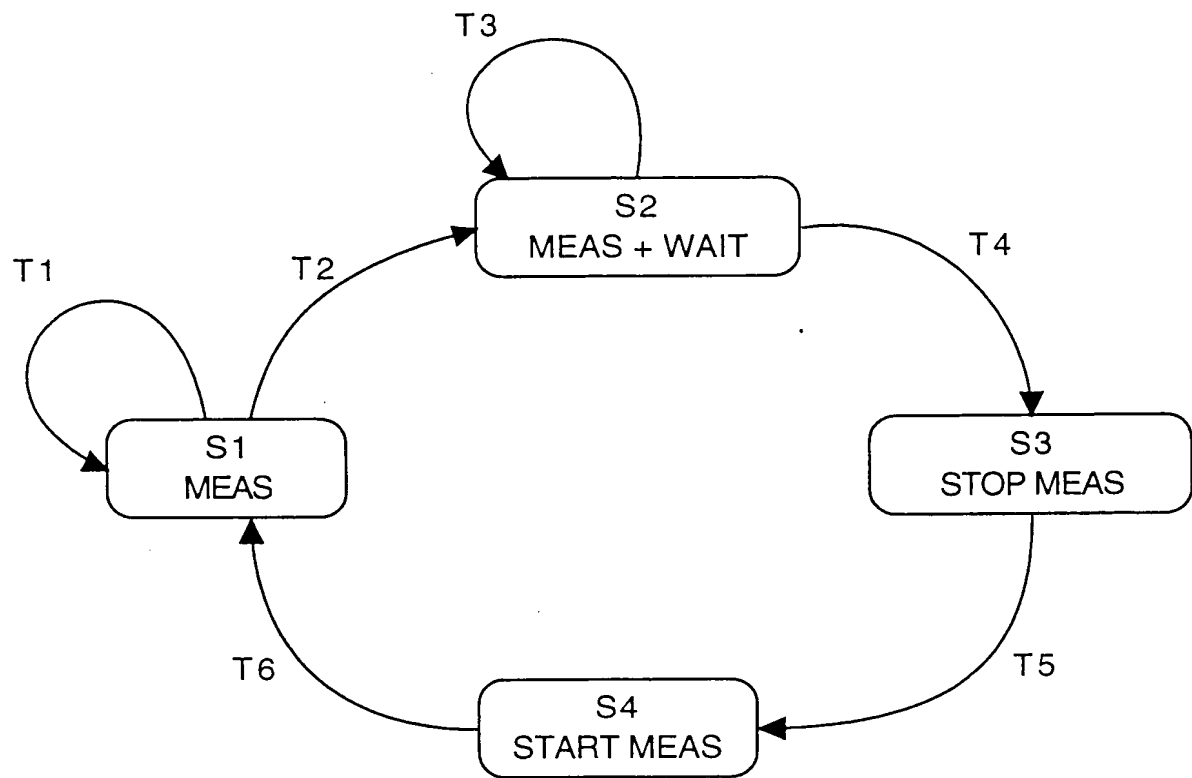
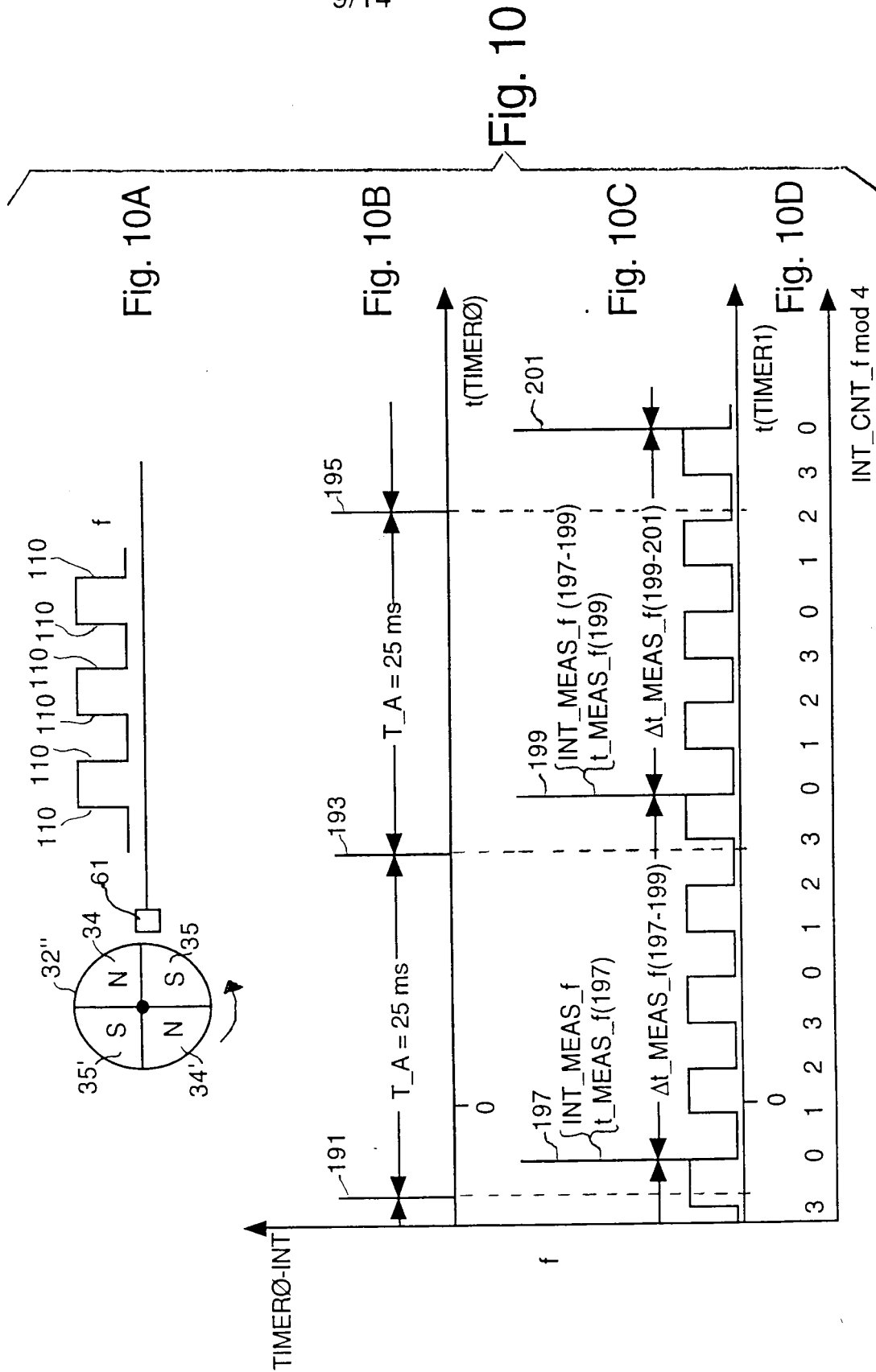


Fig. 9



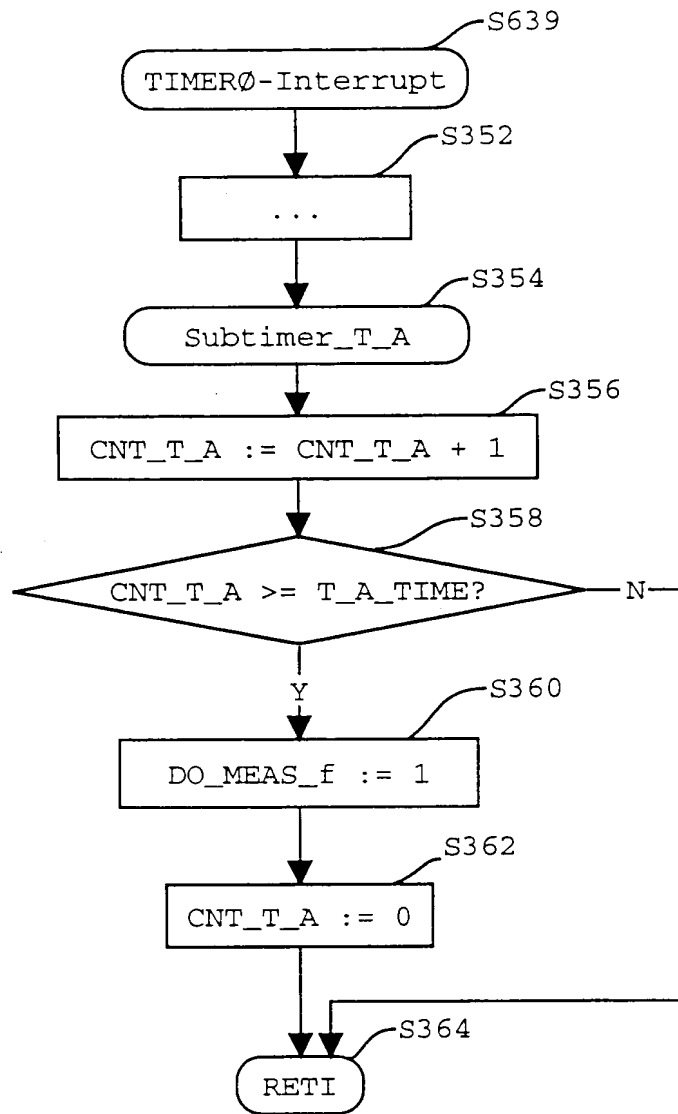


Fig. 11

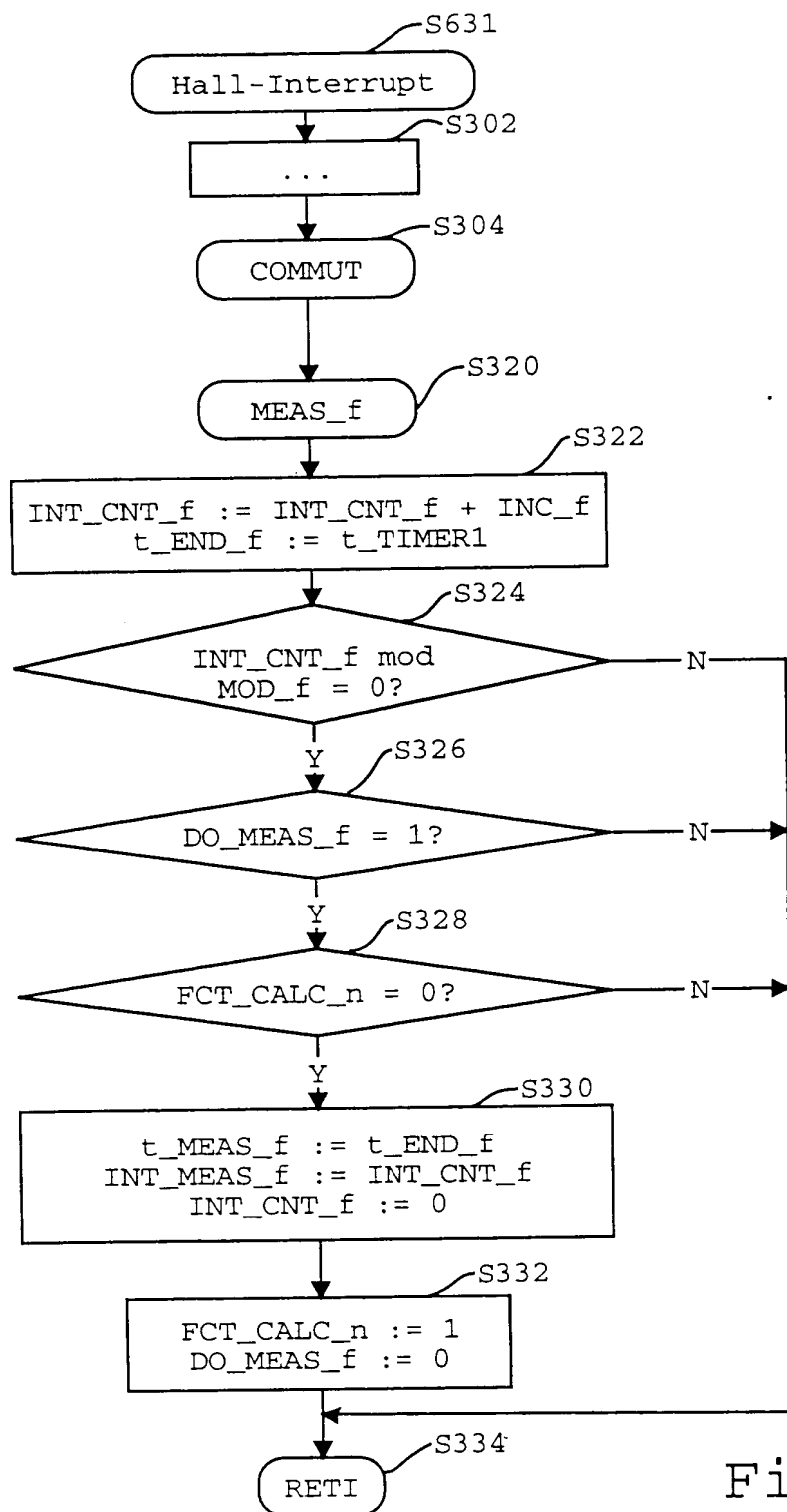


Fig. 12

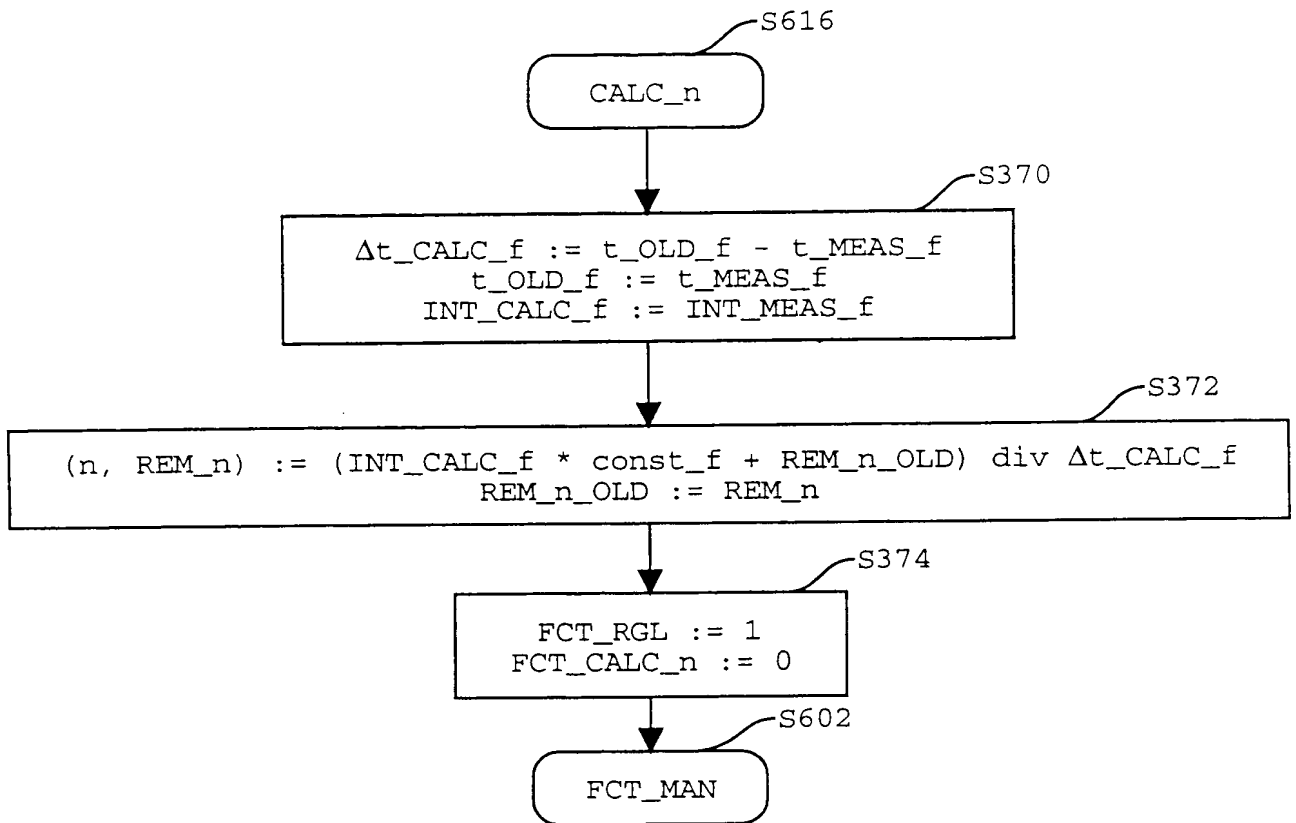


Fig. 13



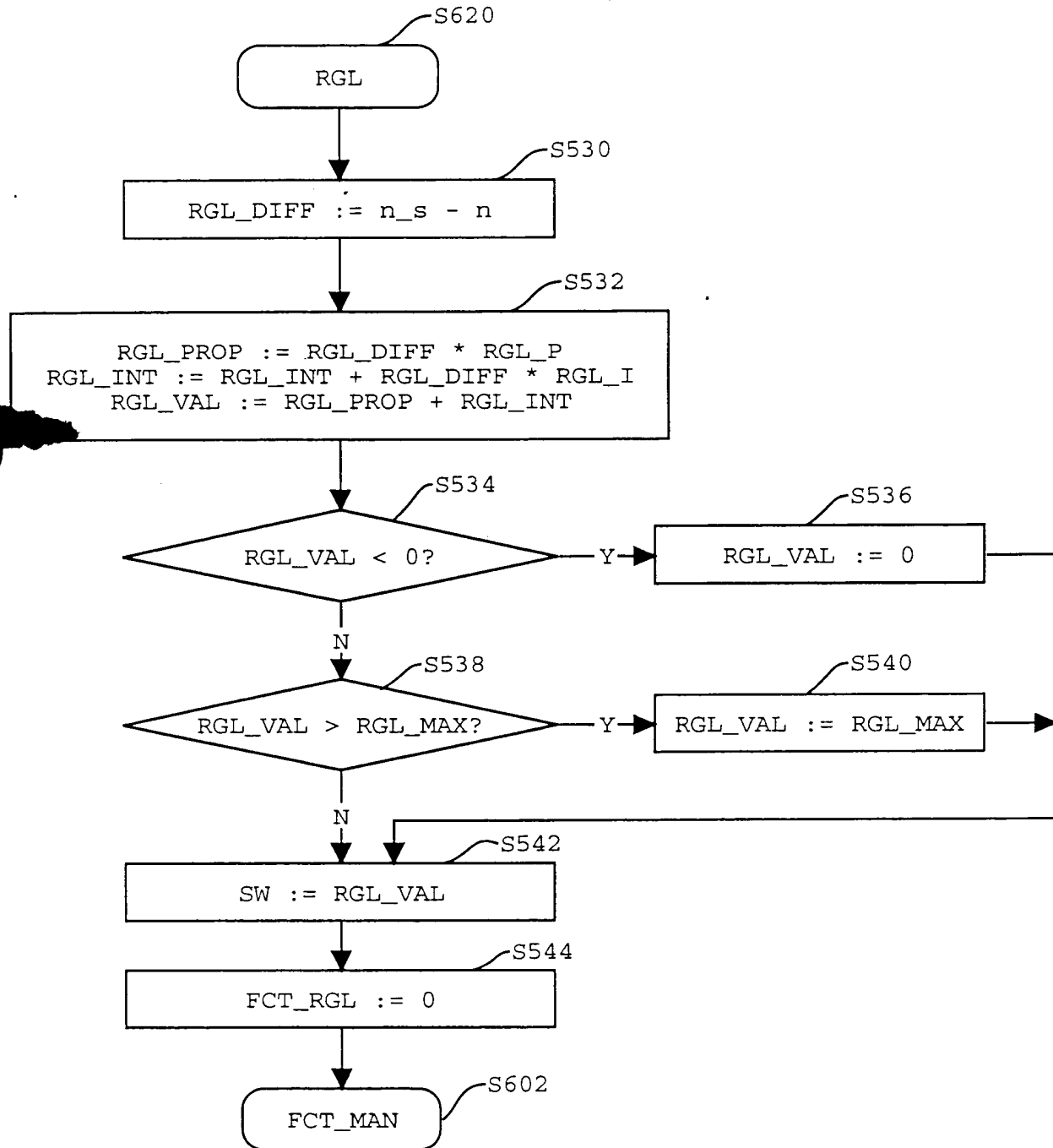


Fig. 14

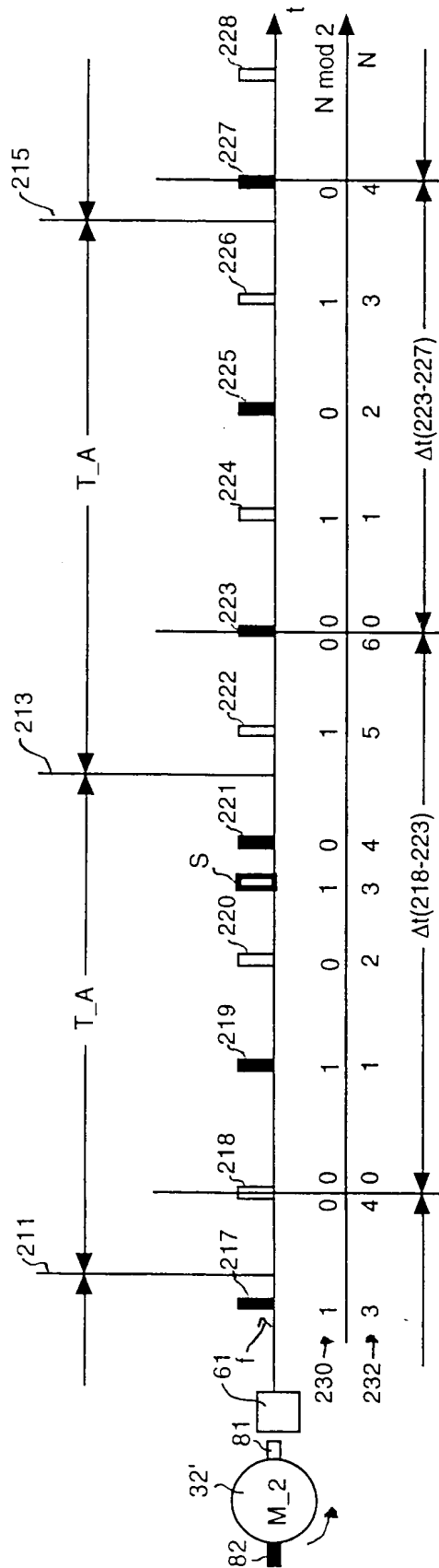


Fig. 15